



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

EFICIENCIA DE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA EN EL TRATAMIENTO
DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO SAN JUAN DE TULUMAYO,
CHANCHAMAYO-2019

Línea de investigación:
Ecotoxicología y química ambiental

Tesis para optar el grado académico de Maestro en Gestión Ambiental

Autor

Valentin Huaranga, Joseph Eduardo

Asesor

Sernaqué Auccahuasi, Fernando Antonio

ORCID: 0000-0003-1485-5854

Jurado

Zamorano Talaverano, Noe Sabino

Mendez Gutierrez, Raúl

Mendoza García, José Tomas

Lima - Perú

2022

Reporte de Análisis de Similitud

Archivo:	1A VALENTIN_HUARANGA JOSEPH EDUARDO MAESTRIA 2020.docx
Fecha del Análisis:	21/03/2022
Analizado por:	Astete Llerena, Johnny Tomas
Correo del analista:	jastete@unfv.edu.pe
Porcentaje:	4 %
Título:	EFICIENCIA DE PROCESOS DE OXIDACION AVANZADA EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO SAN JUAN DE TULUMAYO, CHANCHAMAYO-2019
Enlace:	https://secure.arkund.com/old/view/125174532-570038-505632#DcY7DslwEEXRvbi+QjNv/M1WUAoUAXJBmpSlvePm6HzT50rb3XB8sRQeeMYLXvGGd3wgZMjRSqCMCqgoEWQKIUZn7KRrvs/5msfjPJ5ps5tFya30aGFjyDR+fw==



DRA. MIRIAM LILIANA FLORES CORONADO
JEFA DE GRADOS Y GESTIÓN DEL EGRESADO



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

EFICIENCIA DE PROCESOS DE OXIDACION AVANZADA EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DEL BOTADERO SAN JUAN DE TULUMAYO, CHANCHAMAYO-2019

Linea de investigación:

Ecotoxicología y química ambiental

Tesis para optar el grado academico de:
maestro en gestión ambiental

Autor:

Valentin Huaranga, Joseph Eduardo

Asesor:

Sernaqué Auccahuasi, Fernando Antonio
ORCID: 0000-0003-1485-5854

Jurado:

Zamorano Talaverano, Noe Sabino
Mendez Gutierrez, Raúl
Mendoza García, José Tomas

Lima - Perú

2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, cuya paciencia, apoyo incondicional y amor han sido mi mayor fortaleza en este camino. A mis padres, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia; a mis seres queridos, por su constante motivación.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, por su guía y valiosas sugerencias que enriquecieron este trabajo. A mis profesores, por compartir sus conocimientos y fomentar en mí la pasión por la investigación.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Planteamiento del problema.....	11
1.2. Descripción del problema	14
1.3. Formulación del problema	13
1.3.1. Problema General.....	13
1.3.2. Problemas específicos	14
1.4. Antecedentes	14
1.5. Justificación	19
1.6. Limitaciones de la investigación.....	22
1.7. Objetivos	22
1.8. Hipótesis	22
II. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación	24
2.1.1. Generación de residuos sólidos:.....	24
2.1.2. Generación de lixiviados en Botaderos o Rellenos Sanitario:.....	24
2.1.3. Reseña histórica:	24
2.1.4. Características de los lixiviados:.....	25
2.1.5. Proceso de Oxidación Avanzada (POA)	26
2.1.5.1. Tipo de oxidantes:.....	27
2.1.5.2. Factores que influyen en el tratamiento	27
2.1.5.3. Proceso de Oxidación Avanzando – Método Fenton	28
2.1.6 aspectos de responsabilidad social y ambiental	28
III. MÉTODO.....	29
3.1. Tipo de investigación	29
3.2. Población y muestra	29
3.3. Operacionalización de las Variables	30
3.4. Instrumentos	31
3.5. Procedimientos	31
3.6. Análisis de datos	31
3.7. Consideraciones éticas	32
IV. RESULTADOS.....	33

4.1.	Análisis e interpretación.....	33
4.1.1.	Caracterización del lixiviado.....	33
4.1.2.	Características del oxidante y catalizador	33
4.1.3.	Tratamiento con Fe^{+2} y H_2O_2 para Potencial de Hidrogeno (pH).....	34
4.1.4.	Tratamiento con Fe^{+2} y H_2O_2 para DQO	37
4.1.5.	Tratamiento con Fe^{+2} y H_2O_2 para DBO	40
4.1.6.	Tratamiento con Fe^{+2} y H_2O_2 para Solidos Totales (ST).....	43
4.1.7.	Tratamiento con Fe^{+2} y H_2O_2 para Conductividad Eléctrica (C.E)	45
4.1.8.	Tratamiento con Fe^{+2} y H_2O_2 para Turbidez	48
4.1.9.	Tratamiento con Fe^{+2} y H_2O_2 para Plomo Total.....	51
4.2.	Contrastación de hipótesis.....	56
4.2.1.	Prueba de hipótesis para pH	56
4.2.2.	Prueba de hipótesis para DQO	59
4.2.3.	Prueba de hipótesis para DBO.....	61
4.2.4.	Prueba de hipótesis para Sólidos Totales	64
4.2.5.	Prueba de hipótesis para Conductividad Eléctrica	67
4.2.6.	Prueba de hipótesis para Turbidez.....	70
4.2.7.	Prueba de hipótesis para Plomo Total	73
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76
VI.	CONCLUSIONES	78
VII.	RECOMENDACIONES	80
VIII.	REFERENCIAS	81
IX.	ANEXOS.....	84
9.1.	MATRIZ DE CONSISTENCIA	84
9.2.	Galería fotográfica de laboratorio.	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los lixiviados.....	25
Tabla 2. Ventajas y desventajas de los POA.....	26
Tabla 3. Potencial de oxígeno de compuestos químicos.....	27
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	30
Tabla 5. Caracterización Inicial del lixiviado.....	33
Tabla 6. Características del oxidante y catalizador utilizado.....	34
Tabla 7. Tratamiento 1 para Potencial de Hidrogeno (pH).....	35
Tabla 8. Tratamiento 2 para Potencial de Hidrogeno (pH).....	35
Tabla 9. Tratamiento 3 para Potencial de Hidrogeno (pH).....	36
Tabla 10. Tratamiento 4 para Potencial de Hidrogeno (pH).....	36
Tabla 11. POA para Potencial de Hidrogeno (pH).....	37
Tabla 12. Tratamiento 1 para Demanda Química de oxigeno (DQO).....	38
Tabla 13. Tratamiento 2 para Demanda Química de oxigeno (DQO).....	38
Tabla 14. Tratamiento 3 para Demanda Química de oxigeno (DQO).....	39
Tabla 15. Tratamiento 4 para Demanda Química de oxigeno (DQO).....	40
Tabla 16. POA para Demanda Química de Oxigeno (DQO).....	40
Tabla 17. Tratamiento 1 para Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO).....	40
Tabla 18. Tratamiento 2 para Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO).....	41
Tabla 19. Tratamiento 3 para Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO).....	41
Tabla 20. Tratamiento 4 para Demanda Química de Oxigeno (DBO).....	42
Tabla 21. POA para Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO).....	42
Tabla 22. Tratamiento 1 para Solidos Totales (ST).....	43
Tabla 23. Tratamiento 2 para Solidos Totales (ST).....	44
Tabla 24. Tratamiento 3 para Sólidos Totales (ST).....	44
Tabla 25. Tratamiento 4 para Sólidos Totales (ST).....	45
Tabla 26. POA para Solidos Totales (ST).....	45
Tabla 27. Tratamiento 1 para Conductividad Eléctrica (C.E).....	46
Tabla 28. Tratamiento 2 para Conductividad Eléctrica (C.E).....	47
Tabla 29. Tratamiento 3 para Conductividad Eléctrica (C.E).....	47
Tabla 30. Tratamiento 4 para Conductividad Eléctrica (C.E).....	48
Tabla 31. POA para Conductividad Eléctrica (C.E).....	48
Tabla 32. Tratamiento 1 para Turbidez.....	49
Tabla 33. Tratamiento 2 para Turbidez.....	50
Tabla 34. Tratamiento 3 para Turbidez.....	50
Tabla 35. Tratamiento 4 para Turbidez.....	50

Tabla 36. POA para Turbidez	51
Tabla 37. Tratamiento 1 para Plomo Total.....	52
Tabla 38. Tratamiento 2 para Plomo Total.....	53
Tabla 39. Tratamiento 3 para Plomo Total.....	53
Tabla 40. Tratamiento 4 para Plomo Total.....	54
Tabla 41. POA para Plomo Total	54
Tabla 42. Eficiencia de POA.....	55
Tabla 43. Prueba de efectos inter sujetos - pH.....	56
Tabla 44. Prueba HSD Tukey ^{ab} - pH.....	57
Tabla 45. Prueba de efectos inter sujetos - DQO	59
Tabla 46. Prueba HSD Tukey ^{ab} - DQO	60
Tabla 47. Prueba HSD Tukey ^{ab} - DQO	60
Tabla 48. Prueba de efectos inter sujetos - DBO	61
Tabla 49. Prueba HSD Tukey ^{ab} - DBO	60
Tabla 50. Prueba HSD Tukey ^{ab} - DBO	60
Tabla 51. Prueba de efectos inter sujetos - ST	64
Tabla 52. Prueba HSD Tukey ^{ab} - ST	65
Tabla 53. Prueba HSD Tukey ^{ab} - ST	65
Tabla 54. Prueba de efectos inter sujetos – C.E.....	67
Tabla 55. Prueba HSD Tukey ^{ab} – C.E.....	68
Tabla 56. Prueba HSD Tukey ^{ab} – C.E.....	68
Tabla 57. Prueba de efectos inter sujetos – Turbidez.....	70
Tabla 58. Prueba HSD Tukey ^{ab} – Turbidez.....	71
Tabla 59. Prueba HSD Tukey ^{ab} – Turbidez.....	71
Tabla 60. Prueba de efectos inter sujetos – Plomo Total	70
Tabla 61. Prueba HSD Tukey ^{ab} – Plomo Total	70
Tabla 62. Prueba HSD Tukey ^{ab} – Plomo Total	74
Tabla 63. Matriz de Consistencia.....	80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Variación de pH	59
Figura 2.	Variación de DQO	62
Figura 3.	Variación de DBO	64
Figura 4.	Variación de ST	67
Figura 5.	Variación de C.E	70
Figura 6.	Variación de Turbidez	73
Figura 7.	Variación de Plomo Total	76

RESUMEN

La presente investigación, tuvo como finalidad evaluar la eficiencia del método de oxidación avanzada, utilizando como oxidante al peróxido de hidrogeno y como catalizador al sulfato ferroso, en el tratamiento de los lixiviados generados en el Botadero San Juan de Tulumayo, en la ciudad de Chanchamayo, para ello se realizó un pre-análisis de los principales parámetros fisicoquímicas obteniendo valores de 21.5°C de temperatura, 7.9 de pH, 885mg/L de DBO, 6513mg/L de DQO, 3253mg/L de solidos totales, 20.3mS/cm de conductividad eléctrica, 1220 NTU de turbidez y 1.38mg/L de plomo total. Para la aplicación del método se empleó 5 dosis diferentes del oxidante peróxido de hidrogeno (1, 5, 10, 5 y 20 %), con diferentes rangos de tiempo (5, 10, 15 y 20 minutos), además de mantener un volumen constante de muestra (100 ml) y catalizador (5 ml), logrando una dosis optima del oxidante (peróxido de hidrogeno) de 20%, con un tiempo de tratamiento de 20 minutos. Luego del tratamiento se llevó a cabo un segundo análisis de los parámetros logrando obtener nuevos valores los cuales permitieron definir la eficiencia del tratamiento. Finalmente se concluye que para el tratamiento de lixiviados mediante el método de oxidación avanzada, el porcentaje de eficiencia en la remoción de parámetros fue de: pH 35.4%, DQO 92.4%, DBO 76.2%, ST 83.3%, C.E 59.7%, turbidez 95.1% y plomo de 99.3, siendo este último el contaminante con más porcentaje de remoción.

Palabras claves: Eficiencia, lixiviados, proceso de oxidación avanzada, oxidante, catalizador, dosis

ABSTRACT

The present investigation, had to evaluate the efficiency of the advanced oxidation method, to use hydrogen peroxide as an oxidant and as a catalyst to ferrous sulfate, in the treatment of leachates generated in the San Juan de Tulumayo dump, in the city of Chanchamayo, For this, a pre-analysis of the main physicochemical parameters was performed, obtaining values of 21.5 ° C of temperature, 7.9 of pH, 885mg / L of BOD, 6513mg / L of COD, 3253mg / L of total solids, 20.3mS / cm of electrical conductivity, 1220 NTU turbidity and 1.38mg / L total knob. For the application of the method, 5 different doses of the hydrogen peroxide oxidant (1, 5, 10, 5 and 20%) were used, with different time ranges (5, 10, 15 and 20 minutes), in addition to maintaining a constant volume of sample (100 ml) and catalyst (5 ml), achieving an optimal dose of the oxidant (hydrogen peroxide) of 20%, with a treatment time of 20 minutes. Then the treatment was carried out a second analysis of the parameters managing to obtain new values which allowed to define the efficiency of the treatment. Finally, it is concluded that for the treatment of leachate through the advanced oxidation method, the percentage of efficiency in the elimination of parameters was: pH 35.4%, COD 92.4%, BOD 76.2%, ST 83.3%, EC 59.7%, turbidity 95.1% and 99.3 lead, the latter being the contaminant with the highest removal percentage.

Keywords: Efficiency, leachate, advanced oxidation process, oxidant, catalyst, dose

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad el constante crecimiento poblacional ha venido siendo uno de los factores que influye más en la producción de residuos sólidos, debido al alto consumo de materia por parte de la población, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI el cual realizó un censo en el año 2017, donde se determinó que el crecimiento de la población fue de 10% con respecto al total de población registrada en el año 2007, siendo este un indicador que cada año la población va en aumento y lo que significa una mayor producción de productos y consecuentemente mayor generación de residuos sólidos.

Ahora bien, el crecimiento población ligado al consumo excesivo de productos, viene ocasionando que los pocos rellenos sanitarios existentes en el Perú colapsen, exactamente según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), existen trece (13) rellenos sanitarios autorizados para una población con más de 3 millones de habitantes. Por otro lado esto influye en la existencia de botaderos, en ciudades donde no tienen espacios para disponer los residuos sólidos.

Teniendo en cuenta que la excesiva acumulación de residuos sólidos tiende a producir el denominado Lixiviado, el cual un líquido generado por la humedad y descomposición de los residuos, menciona que los lixiviados contienen altas cargas de carbono total y demanda orgánica de oxígeno, variedad de pH, haciéndolo un compuesto altamente tóxico y difícil de ser tratado (Mendez et al., 2010).

Hoy en día, existen un mínimo de tecnologías aplicadas al tratamiento de lixiviados, debido a su compleja acumulación y concentración de contaminantes los cuales varían con

el tiempo (Mendez et al., 2002). Una serie de investigadores plantea los procesos biológicos, sistemas naturales, evaporación, sistema de membranas, procesos de oxidación avanzada, entre otros con el objetivo de llevar un tratamiento y reducción del contaminante presente en dichos líquidos, evitando así su inserción en el ambiente y causando impactos en la salud poblacional.

Finalmente Martinez et al. (2014) reafirma que resulta muy prometedor el acto de reciclar desde la casa, oficina, negocio, etc., hasta la disposición final ya que estas acciones pueden contribuir a reducir la mezcla de contaminantes tóxicos en la composición de los lixiviados (p.37).

Tal como se mencionó la producción de lixiviados viene siendo de gran peligrosidad en la población y el ambiente, aun mas en lugares como los botaderos que no tienen un control ni protección adecuada, es por lo cual tenemos la intención de enfocarnos en el tratamiento de lixiviados a través del proceso de oxidación avanzada, una tecnología atractiva y viable que creemos pueda ser aplicada al Botadero San Juan de Tulumayo, en la localidad de Chanchamayo, el objetivo principal de la investigación es evidenciar la eficiencia de dicho tratamiento, en la reducción de los contaminantes presentes en los lixiviados producidos en el Botadero, así mismo se tiene como finalidad definir la dosis optima del reactivo que funcionara como oxidante en el tratamiento, y finalmente determinar las concentraciones de los parámetros físicos y químicos antes y después de llevar a cabo el tratamiento.

El constante crecimiento poblacional, el cambio continuo de costumbres, y el constante consumismo han sido los factores más resaltantes en la problemática ambiental y social con respecto a la generación de residuos sólidos. En la gran mayoría de países, específicamente los de América Latina y El Caribe la problemática de residuos sólidos va

en aumento debido a las grandes toneladas de desperdicios que se produce diariamente en cada ciudad, afectando no solo el ambiente sino la salud de la misma población (Saez y Urdaneta, 2014).

Por otro lado a causa del déficit existente de rellenos sanitarios en el Perú, ocasiona que la población se vea obligada acumular sus residuos sólidos en espacios abiertos, los que se denominados botaderos, ya que son espacios de disposición ilegal de los residuos sólidos, sin algún control o medida sanitaria provocando gases tóxicos, contaminación y efectos en la población cercana (Mayorca, 2017).

1.2 Descripción del problema

Teniendo como enfoque principal el botadero municipal San Juan de Tulumayo, en la localidad de Chanchamayo, el cual tiene la capacidad de acumulación de 30000 toneladas de residuos sólidos hasta la actualidad, y estos a su vez se ven expuestos a las precipitaciones, humedad y temperaturas, ocasionando la producción de grandes volúmenes de lixiviados expuestos al ambiente y no reciben un tratamiento efectivo para su control, es necesario que se busquen nuevos métodos de tratamiento de lixiviados, teniendo en cuenta las características y parámetros fisicoquímicos de dichos compuestos, una metodología que contribuya al control de los contaminantes y evitar la problemática ambiental y finalmente proteger la salud poblacional.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

- ¿Cuál es la eficiencia del proceso de oxidación avanzada mediante el método de Fenton en el tratamiento de lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo, 2019?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las caracterizar fisicoquímicas de los lixiviados generados en el Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo – 2019?
- ¿Cuál es la dosis óptima del oxidante peróxido de hidrogeno en el tratamiento de los lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo – 2019?
- ¿Cuáles son las concentraciones finales de los parámetros fisicoquímicos después del tratamiento por oxidación avanzada de los lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo – 2019?

1.4. Antecedentes

1.4.1 Antecedentes internacionales

Mayor et al. (2018) en su investigación titulada “Caracterización de lixiviados como alternativa que contribuya a la mitigación de contaminantes”, planteó como objetivo caracterizar la composición de los lixiviados de ROD, para plantear una alternativa que contribuya a la disminución de estos contaminantes, para lo cual llevo a cabo una caracterización previa obteniendo valores de: DBO (4538,50), DQO (84634,54) mg/L O₂, la cantidad de carbono orgánico no purgable disuelto (NPOC-D) fue de 30468,08 y azúcares reductores fue de 35786,00 ppm, un contenido ST de 34,31 g/L; además se determinó la presencia de minerales como Na, K, Ca, Mn, Fe y Zn, y compuestos aniónicos como nitratos y fosfatos, los cuales se encontraron en concentraciones de 72,92 y 241,19 ppm, respectivamente. Finalmente a partir de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta las necesidades nutricionales de los microorganismos heterótrofos, el lixiviado proveniente de ROD representa una Nota de macro y micronutrientes para su crecimiento; por lo que se

podrían implementar procesos de biorremediación que permitan la remoción de contaminantes.

Valderrama (2018) en su investigación titulada, estudio de un método innovador de oxidación en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios para su posible uso en la ingeniería, planteo como objetivo el estudio del método de oxidación avanzada en la aplicación del tratamiento de lixiviados de relleno sanitario, además de su aprovechamiento en la ingeniería, así mismo determinar el porcentaje de reducción del DQO, mediante la selección de información de métodos de oxidación Avanzada usando ozono (O_3), en combinación con peróxido de hidrógeno (O_3/H_2O_2), y con luz ultravioleta (H_2O_2/UV), así mismo se aplicó los procesos con peróxido de hidrógeno (O_3/H_2O_2) en combinación con luz ultravioleta (H_2O_2/UV) y Fenton (H_2O_2/FeO_2). Finalmente, el autor determino que el mejor proceso en la reducción de DQO, fue la de Peróxido de Hidrogeno y Ozono el cual llevo a reducir el 96% con una dosis de 0.3g. Por otro lado, el proceso con Fenton solo reduce un 73% de la DQO, y en combinación con otro proceso biológico puede adquirir mayor porcentaje de remoción.

Pérez et al. (2017) en su artículo titulado, aplicación de procesos de oxidación avanzada en planta piloto al tratamiento de lixiviados de vertedero, tuvieron como objetivo mostrar la eficiencia del tratamiento de dos PAOs a escala piloto en el tratamiento de lixiviados, donde aplicaron dos procesos: Fenton con Ultravioleta y membrana sumergible; que consta de tres etapas oxidación avanzada tipo Fenton, neutralización y ultrafiltración con membrana sumergible y por otro lado el sistema Electro-oxidación con electrodos de DDB. Finalmente, los resultados fueron favorables concluyendo que la aplicación de tecnologías de PAOs tienen un elevado potencial, para el primer tratamiento de Fenton/UF con membrana en condiciones ($1g/L Fe^{2+}$, $H_2O_2/DQO = 4$, tiempo de 2 horas), se logró una reducción de DQO de 80%, mientras que para el tratamiento de oxidación electroquímica

con electrodos de DDB la eficiencia obtenida fue del 100%, siendo el tratamiento más eficaz y recomendado por los autores.

Bautista et al. (2016) en su publicación titulada, proceso fenton para lixiviados pretratados biológicamente, planteo como objetivo evaluar la efectividad del proceso Fenton en la remoción de contaminantes orgánicos de lixiviados pretratados, provenientes de un biorreactor semiaerobico empacado con residuos sólidos de edad avanzada. En su metodología considero como variables de ensayo pH (2.5, 3.5 y 4.5) además las relaciones molares (2, 3 y 4) y un total de nueve tratamientos y tres repeticiones, como reactivo catalizador se utilizó $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y como agente oxidante H_2O_2 al 30%. Finalmente se obtuvo que el mejor tratamiento en una hora de reacción fue bajo condiciones de pH 3.5 y relación molar $[\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}]$ de 2, en el cual se logró remoción de más de 50% para DQO y más de 90% para color. Dicho tratamiento resulto efectivo y viable en la eliminación de contaminantes difíciles de degradar a partir del uso de pocos reactivos además de la depuración final de lixiviados pre tratados.

Martínez et al. (2014) en su investigación, alternativas actuales del manejo de lixiviados, pretenden realizar una revisión de los principales métodos utilizados en el manejo de lixiviados, indicando las características, ventajas y desventajas de cada uno; es así que mencionan los siguientes tratamientos: Procesos Biológicos, el cual es esencial en el tratamiento de lixiviados con altas concentraciones de grasos volátiles y la relación de DQO/DBO es mayor a 0.4, por otro lado proponen los Sistemas Naturales; los cuales pueden ser lagunas y humedales artificiales los cuales tienen como principal desventaja la ocupación de gran cantidad de terreno, así mismo se tiene el tratamiento de Recirculación de Lixiviados, que tiene como mayor ventaja el control de la dispersión de estos evitando su transporte o inserción en otro medio que no sea los mismo residuos, la técnica de Evaporación, se reutiliza el gas emanado del relleno con la finalidad de calentar e lixiviado evaporando el

agua del lixiviado y finalmente el Proceso de Oxidación Avanzada en el cual se incluye el uso de reactivos principalmente hidroxilo debido a su efectividad en la oxidación de materia orgánica. Finalmente, los autores hacen referencia que no existe una tecnología óptima ya que el manejo de lixiviados depende de las características de los mismos.

Alonso (2013) en su investigación titulada, contribución al tratamiento de lixiviados de vertedero de residuos sólidos urbanos mediante procesos de oxidación avanzada, plantea como objetivo principal, contribuir al conocimiento de la aplicación de POSs como tratamiento previo al método convencional de remediación de lixiviados. En su estudio el autor presenta los métodos experimentales en el tratamiento de lixiviados de vertederos y aguas sintéticas mediante procesos de Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$), foto Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}/\text{UV}$) y electro-oxidación, en su análisis previo se determinó que los lixiviados se caracterizaron por su baja biodegradabilidad, con valores por debajo de $0,24 \pm 0,1$, y su intenso color marrón-negro, contenido en materia orgánica (2228 ± 702 mg/L), amonio (1030 ± 211 mg/L) y cloruros (1992 ± 527 mg/L). Finalmente se obtuvo que la eliminación de materia orgánica. Para el proceso Fenton bajo condiciones de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{DQO}=1,7$ y $\text{Fe}^{2+}/\text{DQO}=0,28$, se consiguió la reducción de DQO del 72% en 60 minutos, en el proceso foto-Fenton bajo condiciones de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{DQO}=2$ y $\text{Fe}^{2+}/\text{DQO}=0,33$ la reducción fue de 81% en 45 minutos, por otro lado, para el proceso de oxidación electroquímica alcanzo un 81% después de 3 horas.

Nájera et al. (2009) en su investigación titulada, caracterización y tratamiento fisicoquímico de lixiviados maduros producidos en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, tuvieron como principal objetivo evaluar la eficiencia del proceso de coagulación en la remoción de materia orgánica (DQO), a través de dos coagulantes cloruro férrico (FeCl_3) y sulfato ferroso (FeSO_4) en dosis de (1.4, 1.6 y 1.8 g/L), valores de pH (4, 5 y 6) el procedimiento se dio en equipo de prueba de jarras (6 vasos precipitados con 100 mL cada uno), realizándose 10 repeticiones de cada tratamiento.

Finalmente determinaron que el mejor insumo como mejor coagulante fue FeCl_3 , en la remoción de DQO, con un 67 % de eficiencia, así mismo las condiciones para dicho resultado fue de pH (6) y dosis (1.4 g/L).

Primo (2008) en su investigación titulada, mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada”, tuvo como objetivo evaluar el potencial de proceso de oxidación avanzada (POA) y determinar las mejores condiciones de operación: concentración de H_2O_2 , concentración de Fe^{2+} y temperatura, la experimentación se dio a escala de laboratorio empleando un reactor equipado con lámpara de radiación UV, agitador magnético y refrigeración, el POA tuvo cuatro variables: peróxido de hidrogeno, hierro y cobre como catalizadores y radiación ultravioleta, además se usó como agente oxidante H_2O_2 . Los resultados obtenidos fueron: Para el tratamiento con Fotosíntesis directa, se obtuvo reducción de DQO inferior a 3%, mientras que en el tratamiento de oxidación utilizando únicamente H_2O_2 como agente oxidante, la reducción de DQO fue inapreciable, <2%, por otro lado la combinación de UV con un agente oxidante H_2O_2 , mejoro considerablemente debido a la formación de radicales hidroxilo, obteniendo una reducción de 30 y 36 % de DQO empleando 5000 y 15000 mg/L de peróxido respectivamente, así mismo para el tratamiento Fenton de oxidación avanzada, se logró mejores resultados en concentraciones de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{DQO} = 1.70$ y $\text{Fe}^{2+}/\text{DQO} = 0.28$, los cuales alcanzaron una reducción DQO de 78% en 60 min, pH 3.0 y T° ambiente, así mismo se logró mejor reducción de DQO en pH 7.0 – 8.0, y reducción de color superior a 95%, en cuanto a la temperatura se logró mejor trabajo en 50°C y 30 min de tiempo. Para el tratamiento de foto-Fenton, ($\text{UV}/\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$), se logró mejores resultados de reducción de DQO a 85% en relación inicial en peso $\text{H}_2\text{O}_2/\text{DQO} = 2.00$ y $\text{Fe}^{2+}/\text{DQO} = 0.33$, con un tiempo de reacción de 60 min, pH 3.0 y T° 20°C., en pH 1.0 – 8.0 se logró 95% de reducción de color. Finalmente se concluye que la eficacia en la reducción de DQO en los procesos de mayor a

menor es: Foto-Fenton (85%), Fenton (78%), UV/H₂O₂ (47%), UV/Fe²⁺ (32%) y UV (3%). En cuanto a la reducción de color la eficiencia de aplicación del POA es de preferencia usar un catalizador (Cobre o Hierro) con peróxido de hidrógeno, siendo el cobre con ligero mejor resultado.

1.4.2 Antecedentes nacionales

Mayorca (2017) en su investigación, reducción de la carga orgánica en lixiviado estabilizado del botadero municipal de san ramón mediante oxidación avanzada foto-fenton, plantea como objetivo, determinar la reducción de la carga orgánica en lixiviado maduro del botadero municipal de San Ramón mediante oxidación avanzada foto – Fenton, el autor realizo un muestreo de acuerdo al Protocolo de Monitoreo de calidad de Recursos Hídricos, obteniendo aproximadamente 37.85 litros de muestra, la cual fue llevada a un laboratorio para el análisis primario, por otro lado mediante un reactor parabólico solar, la dosis se obtuvo a través de la relación de estequiometria, la experimentación se realizó en los meses de abril a septiembre y a horas de 10:00am a 14:00pm. Finalmente, la eficiencia de remoción alcanzada con el proceso Foto-Fenton en el lixiviado es de 94.38 % con una relación molar de 1:25, tiempo de 20 minutos y 3254.8 lx/m² de irradiación solar acumulada.

1.5 Justificación de la investigación

1.5.1 Justificación Teórica

La utilización de plantas convencionales, y metodologías simples en el tratamiento de lixiviados no siempre suelen ser efectivas cuando existe concentraciones elevadas de algunos parámetros o compuestos recalcitrantes (aquellos resistentes a la biodegradación), además de ser tecnologías de alto costo, (Malato, 2017).

Por otro lado, teniendo en cuenta que los lixiviados presentan componentes en disolución y elevado contenido de materia orgánica, convirtiéndose en líquidos resistentes a métodos convencionales y difícilmente biodegradables, por lo cual se requiere la búsqueda de nuevas tecnologías adaptables y accesibles para el control de dichos fluidos. Con esta investigación, se pretende realizar el tratamiento de los lixiviados de relleno a través del proceso de oxidación avanzada, aplicando el método de fenton que con su elevado potencial de oxidación tienen la capacidad de degradar compuestos orgánicos y contaminantes presentes en los líquidos. En síntesis, con la presente investigación utilizada en muchos países, permitirá disminuir las concentraciones de los contaminantes de lixiviados para que finalmente sean dispuestos al medio, sin precaución de riesgos o peligros.

Por lo expuesto, la presente investigación se justifica de forma teórica, en razón a que se pretende contribuir con el presente modelo de oxidación avanzada para los casos específicos de botaderos y/o rellenos sanitarios informales.

1.5.2 Justificación práctica

El presente estudio se justifica teóricamente puesto que la compleja composición y características de los lixiviados producidos en botadero, son comúnmente difíciles de tratar, es por lo cual el aplicar un método de Oxidación Avanzada, puede llegar a disminuir el grado de contaminantes presentes, por otro lado la necesidad de evitar el continuo deterioro del ambiente, dicha tecnología permitirá que las descargas de lixiviados al medio cumplan con los parámetros establecidos en la normativa vigente.

1.5.3 Justificación social

Sabemos que los lixiviados representan un peligro para la salud humana y el ambiente debido a su alto riesgo de toxicidad (Florindo, 2010), es por lo cual se pretende plantear

estrategias de acción para promover un manejo responsable de los desechos y/o residuos, del mismo modo aportar tecnológicamente en el manejo de lixiviados para reducir su impacto en el ambiente y en la salud de los ecosistemas y seres vivos en general.

1.6 Limitaciones de la investigación

Entre las principales limitaciones de la presente investigación se encuentra la realización del estudio en condiciones de laboratorio controladas, lo que podría no representar completamente el comportamiento de los lixiviados en condiciones reales del botadero San Juan de Tulumayo. Asimismo, se utilizó un volumen reducido de muestra (100 ml), lo cual limita la extrapolación de los resultados a una escala mayor o a una implementación a nivel industrial. Otra limitación fue la disponibilidad de recursos, lo que impidió evaluar la influencia de otras variables operativas, como la variación de la concentración del catalizador o el efecto de diferentes niveles de pH inicial. Además, el análisis se centró únicamente en parámetros fisicoquímicos específicos, sin considerar la presencia de otros contaminantes orgánicos o metales pesados adicionales que podrían estar presentes en los lixiviados. Estas limitaciones sugieren la necesidad de futuras investigaciones que amplíen el rango de parámetros evaluados y validen la eficiencia del método a mayor escala y en condiciones reales de operación.

1.7 Objetivos de la investigación

1.7.1 Objetivo general

- ✓ Evaluar la eficiencia por procesos de oxidación avanzada mediante el método de Fenton en el tratamiento de lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo, 2019.

1.7.2 *Objetivos específicos*

- ✓ Determinar las características fisicoquímicas de los lixiviados generados en el Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo – 2019.
- ✓ Determinar la dosis óptima del oxidante peróxido de hidrogeno para el tratamiento de lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo – 2019.
- ✓ Determinar las concentraciones finales de los parámetros fisicoquímicos después del tratamiento por oxidación avanzada de los lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo – 2019.

1.8 Hipótesis

1.8.1 *Hipótesis general*

- El tratamiento de lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo - Chanchamayo, mediante el proceso de oxidación avanzada tiene una eficiencia mayor a 98%.

1.8.2 *Hipótesis específicas*

- Las características fisicoquímicas de los lixiviados generados en el Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo – 2019, presentan concentraciones elevadas.
- La dosis optima del oxidante peróxido de hidrogeno utilizado en el tratamiento de los lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo – 2019, es de 5 mg/L.

- La dosis optima del oxidante peróxido de hidrogeno utilizado en el tratamiento de los lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo – 2019, presentan concentraciones menores a las iniciales.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1 *Generación de residuos sólidos*

De acuerdo a un estudio de caracterización realizado en el año 2016, en el Botadero San Juan de Tulumayo, se estimó una generación per capital de 0.57 kg/hab-día, de residuos sólidos, los cuales están compuestos en mayor porcentaje de materia orgánica (64%), mientras que el resto de materia inorgánica (36%). (Mayorca, 2017).

2.1.2 *Generación de lixiviados en Botaderos o Rellenos Sanitario*

Los lixiviados son aquellos líquidos formados como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica e inorgánica de los residuos sólidos. (CONAMA, 2016). Por otro lado, de acuerdo con Valderrama (2017), existen tres tipos de lixiviados (p.12):

- **Lixiviados jóvenes:** los cuales se caracterizan por su alto contenido de ácidos grasos volátiles libres, y concentraciones elevadas de DQO y DBO.
- **Lixiviados maduros:** caracterizados por tener alta concentración de Nitrógeno Amoniacal, además de sales disueltas (cloruros, sulfuros, bicarbonatos, entre otros.)
- **Lixiviados viejos:** cuya característica principal es su alta concentración de Amoniacal, DQO y una concentración baja de DBO

2.1.3 *Reseña histórica*

El Botadero San Juan de Tulumayo, se inició desde el año 1999, cuando por iniciativa de la Municipalidad de San Ramón, se definió un terreno ubicado en la localidad de San

Juan de Tulumayo, con aproximadamente 5.67 hectáreas para destinarlo a la construcción de un relleno Sanitario, finalmente debido a que dicha zona no cuenta con un Estudio de Impacto Ambiental, ni infraestructura aprobada por DIGESA, actualmente se lo considera un botadero. La estimación promedio de residuos sólidos enterrados en la zona es de 30 000 toneladas. (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2017).

2.1.4 Características de los lixiviados

Los lixiviados se caracterizan principalmente por su alto poder de contaminantes presentes en estos, es por lo cual la importancia de tener en cuenta al momento de definir cuál es el tratamiento más conveniente. Así mismo cabe mencionar que la calidad de los lixiviados varía en el tiempo y mucho depende el tipo de lixiviado a tratar, (tipos de lixiviados mencionados en el ítem anterior). En el siguiente cuadro se puede observar cuales son las concentraciones de los principales parámetros de un lixiviado según el tipo:

Tabla 1

Propiedades fisicoquímicas de los lixiviados

PARÁMETRO	UNIDAD	LIXIVIADO JOVEN	LIXIVIADO MADURO	LIXIVIADO VIEJO
Años	-	<5	5 -10	>10
pH	-	<6.5	6.5 – 7.5	>7.5
DQO	mg/L	>10000	4000 - 10000	<4000
DBO ₅ /DQO	mg/L	0.5 – 1.0	0.1 – 0.5	<0.1
COT/DQO	mg/L	<0.3	0.3 – 0.5	>0.5
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<400	-	>400
Metales pesados	-	Baja-medio	Baja	Baja
Biodegradabilidad	-	Alta	Media	Baja

Nota: Bautista, 2016.

2.1.5 Proceso de Oxidación Avanzada (POA)

Los POA, son tecnologías, que han tenido gran intervención en el tratamiento de lixiviados debido a su potencial de remoción de contaminantes por el uso de reactivos como el radical hidroxilo entre otros. En la siguiente tabla veremos algunas ventajas y desventajas de este proceso.

Tabla 2

Ventajas y desventajas de los POA

VENTAJAS	DESVENTAJAS
a) Cambian de fase al contaminante y lo transforman químicamente.	a) Algunos POA, como los fotoquímicos son un poco más costosos por el consumo de energía.
b) Se puede conseguir fácilmente la mineralización completa de los compuestos.	b) En procesos donde interfiere la luz, la destrucción del contaminante depende del diseño del reactor.
c) Hay un mínimo degeneración de sustratos que se tratan posteriormente.	c) Los POA con luz no son adecuados para procesos de mezclas con sustancias.
d) Efectivos para contaminantes refractarios y líquidos a bajas concentraciones.	
e) Se consume menos energía que otros métodos.	
f) Eliminan efectos sobre la salud como el uso de desinfectantes y oxidantes residuales como el cloro.	
g) Los contaminantes se transforman en productos simples tratables.	

Nota: Martínez et al. 2014.

2.1.5.1 **Tipo de oxidantes.** En la siguiente tabla se muestra la capacidad de ocho tipos de oxidantes aplicados en el proceso de oxidación avanzada para la remoción de metales, DBO, DQO.

Tabla 3

Potencial de oxígeno de compuestos químicos

AGENTES OXIDANTES	EOP (mV)	EOP vs Cl ₂
Radical hidroxilo	2.80	2.05
Oxígeno atómico	2.42	1.78
Ozono	2.08	1.52
Peróxido de Hidrogeno	1.78	1.30
Hipoclorito	1.49	1.10
Cloro	1.36	1.00
Dióxido de cloro	1.27	0.93
Oxígeno (molecular)	1.23	0.90

Nota: citado por Farfan, 2017.

2.1.5.2 **Factores que influyen en el tratamiento.** Algunos de los factores que pueden incidir en la viabilidad del proceso son:

- ❖ La concentración del oxidante, se debe tener en cuenta la dosis eficiente para el proceso, en algún caso depende de la cantidad de contaminante existente.
- ❖ El pH del medio es normalmente en rangos bajos, sin embargo, se debe tener en cuenta diferentes pHs para determinar el óptimo.
- ❖ La intensidad de radiación UV, dependerá del tipo de dispositivo a usar en el reactor.
- ❖ El tiempo de reacción, se determinará durante la experimentación es por lo cual se debe tener en cuenta al menos 3 tiempo.

2.1.5.3 **Proceso de Oxidación Avanzando – Método Fenton.** El método fenton, aplicado por primera vez en 1894 por Henry J. Fenton, donde descubrió que el peróxido de hidrogeno (H_2O_2), actuando como oxidante, puede ser añadido en sales de hierro, en medio ácido para la formación de radicales OH, denominando esta reacción como reactivo fenton, tal como se describe en la siguiente fórmula. (Ainhoa, et al. 2014).



2.1.6 Aspectos de responsabilidad social y ambiental

El reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, indica que:

“A fin de asegurar la maximización constante de la eficiencia en el uso de materiales, y regular la gestión y manejo de residuos sólidos, que comprende la minimización de la generación de residuos sólidos en la Nota, la valorización material y energética de los residuos sólidos, la adecuada disposición final de los mismos y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública.”

Es por lo cual la necesidad de abordar el tema del tratamiento de lixiviados generados en rellenos sanitarios y/o botadero puesto que significan un riesgo en la salud poblacional y un impacto en el ambiental.

Sumado a esto teniendo en cuenta que la población cada año va en aumento y consecuentemente se genera más residuos sólidos, así mismo el déficit de espacios para su disposición final, conllevan a la urgencia de implementar nuevas tecnologías para el tratamiento de dichos lixiviados generados.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación tiene un diseño de tipo EXPERIMENTAL ya que, influye la intervención del investigador en la manipulación de la variable independiente para observar los efectos en la variable dependiente. (Hernández, 2010).

El tipo de investigación es EXPLICATIVO ya que la metodología aplicada estuvo en base a estudios previos. Además de buscar el porqué de los hechos estableciendo relación entre causa – efecto. (Hernández, 2010).

3.2 Población y muestra

Para la presente investigación se consideró como población a los lixiviados que se generan en el Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo.

Se obtuvo una cantidad promedio de 50 litros de lixiviados para el desarrollo del tratamiento propuesto. El tipo de muestra, aplicada fue no probabilístico, puesto que la selección de la muestra se dio de acuerdo a las características de la investigación, es decir los lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo que están expuestos en el ambiente serán muestreados aplicando el Protocolo Nacional De Monitoreo De La Calidad De Cuerpos Naturales De Agua Superficial.

3.3 Operacionalización de las variables

Tabla 4

Operacionalización de las variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNID.
Procesos de Oxidación Avanzada – Método Fenton	Es un proceso físico-químico, capaz de producir alteraciones en la composición de los contaminantes. Dicho proceso genera y usa especies transitorias de poder oxidante, como el radical hidroxilo (HO [•]). (DOMÉNECH, X., et al, 2018, p.8). El método fenton, utiliza un oxidante (peróxido de hidrogeno) y un catalizador (sulfato ferroso).	Para el tratamiento con el Proceso de Oxidación Avanzada, se utilizó una muestra de 50 litros de lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, los cuales fueron analizados previo al tratamiento. Seguidamente se dividen los lixiviados en vasos precipitados a un volumen determinado, para agregar el oxidante peróxido de hidrogeno, tomando en cuenta diferentes dosis y tiempos de tal modo se definió cual era el más óptimo para el tratamiento. Así mismo se determinó la eficiencia mediante las concentraciones iniciales y finales: [(Ci – Cf)/Ci] * 100	Eficiencia	Concentración Inicial	mg/L
				Concentración Final	mg/L
				Eficiencia	%
				Dosis	mg/L
				Características del oxidante	
Lixiviados en el Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo	Son aquellos líquidos formados como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica e inorgánica de los residuos sólidos, y dicho líquido tiende a infiltrar en las capas de suelo donde se producen. Por otro lado, existen factores como la climatología, hidrología, del lugar donde se almacenan los residuos que inciden en la producción de lixiviados. (CONAMA, 2016, p.2).	La caracterización de los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados fue determinada mediante el análisis de laboratorio preliminar y posterior al tratamiento.	Parámetros fisicoquímicos	Temperatura	°C
				pH	-
				DBO	mg/L
				DQO	mg/L
				ST	mg/L
				Conductividad Eléctrica	mS/cm
				Turbidez	NTU
				Plomo Total	mg/L

3.4 Instrumentos

Ficha de observación: mediante este instrumento se registraron los datos obtenidos durante la experimentación.

Para el muestreo de lixiviados se utilizó el “Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos autoridad Nacional del Agua”.

3.5 Procedimientos

Los procedimientos realizados para llevar a cabo la presente investigación se basaron en:

- ✓ La recopilación de las muestras de lixiviados, aplicando el “Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos autoridad Nacional del Agua”.
- ✓ Seguidamente se realizó la caracterización de los lixiviados, mediante el análisis en un laboratorio acreditado, de los principales parámetros considerados en el estudio (pH, T°, DBO, DQO, SST, metales).
- ✓ Para la preparación del catalizador, se diluyó 1 gramo de sulfato ferroso en 1 ml de agua destilada.
- ✓ Se realizó el tratamiento, donde se determinó la cantidad de muestras, las dosis del oxidante y los tiempos de permanencia, con los cuales se definió el tiempo y dosis óptima para el tratamiento.
- ✓ Se realizó nuevamente analizar los parámetros para determinar si el proceso de tratamiento redujo los valores iniciales.
- ✓ Finalmente, mediante la ecuación $[(\text{concentración inicial} - \text{concentración final}) / \text{concentración inicial}] * 100$, se determinó el porcentaje de remoción obtenido durante el tratamiento.

3.6 Análisis de datos

Los datos cuantitativos obtenidos durante la experimentación fueron analizados a través del software Excel, el cual permitió la distribución de data (dosis, tiempos, concentraciones, etc.), permitiendo demostrar mediante cálculos, cuadros y Figuras, los niveles de eficiencia del proceso de oxidación avanzada.

3.7 Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló respetando los principios éticos establecidos por la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), garantizando en todo momento la integridad científica y el compromiso con la responsabilidad social y ambiental. Se evitó cualquier tipo de manipulación indebida de los datos y se aseguró la veracidad de los resultados obtenidos. Asimismo, durante la recolección y manipulación de los lixiviados del botadero San Juan de Tulumayo, se tomaron las medidas necesarias para proteger el entorno y la salud de los investigadores, empleando protocolos de bioseguridad adecuados para el manejo de sustancias potencialmente peligrosas. No se involucraron seres humanos ni animales en el experimento, por lo tanto, no fue necesario el consentimiento informado. Finalmente, se promovió el uso responsable del conocimiento generado, orientado al beneficio de la comunidad y al desarrollo de soluciones sostenibles para el tratamiento de residuos.

IV. RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación

4.1.1 Caracterización del lixiviado

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización del Lixiviado antes de iniciar el proceso de tratamiento por procesos de Oxidación Avanzada mediante el uso de un catalizador como el Sulfato Ferroso (FeSO_4) y el oxidante Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2).

Tabla 4

Caracterización Inicial del lixiviado

MUESTRA	T (°C)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	ST (mg/l)	C.E (mS/cm)	Turbidez (NTU)	Plomo Total (mg/l)
M-1	21.5	7.9	885	6513	3253	20.3	1220	1.38

T: Temperatura

pH: Potencial de Hidrógenos

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

SST: Sólidos Totales

CE: Conductividad Eléctrica.

4.1.2 Características del oxidante y catalizador

- ❖ El Oxidante utilizado fue peróxido de hidrogeno (H_2O_2), a una concentración del 70%, en dosis de 1%, 5%, 10%, 15% y 20%. Mientras que el catalizador utilizado fue sulfato ferroso (Fe^{+2}), a una concentración de 1%, y dosis estándar de 5 ml. Por otro lado, se realizó cinco tratamientos en tiempos de 5, 10, 15 y 20 minutos, además de incluir 3 repeticiones por tratamiento. Finalmente se tuvo un volumen estándar de 100 ml de muestra para el análisis de cada parámetro. Tal como se resume en la siguiente tabla.

Tabla 5*Características del oxidante y catalizador utilizado*

		Concentración	Dosis	Tiempos de tratamiento	Volumen de la muestra
Oxidante	Peróxido de Hidrogeno (H ₂ O ₂)	70 %	1 %	5 min 10 min 15 min 20 min	100 ml
			5 %		
			10 %		
			15 %		
			20 %		
Catalizador	Sulfato Ferroso (Fe ⁺²),	1 %	5 ml		

4.1.3 Tratamiento con Fe⁺² y H₂O₂ para Potencial de Hidrogeno (pH)

Con un volumen de muestra de 100 ml, y una dosis de 5 ml de Fe⁺², se analizó el parámetro potencial de hidrógeno (pH) obteniendo que para los diferentes tiempos de tratamiento la dosis más óptima varía entre 15 y 20 % del oxidante peróxido de hidrogeno, reduciendo el valor inicial de pH (7.9) hasta un mínimo de 5.1, tal como se muestra en los siguientes cuadros:

Tabla 6*Tratamiento 1 para Potencial de Hidrogeno (pH)*

TRATAMIENTO 1					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	5'	5'	5'	5'	5'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Unidad de pH	7.9	7.2	6.4	5.8	5.8
REPETICIONES					
1	7.6	7.1	6.6	6.0	5.7
2	7.7	6.9	6.7	5.9	5.9
3	7.9	7.3	6.5	5.8	5.8
PROMEDIO	7.8	7.1	6.5	5.9	5.8

Tabla 7*Tratamiento 2 para Potencial de Hidrogeno (pH)*

TRATAMIENTO 2					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	10'	10'	10'	10'	10'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Unidad de pH	7.4	6.8	6.1	5.6	5.5
REPETICIONES					
1	7.5	6.7	6.1	5.7	5.7
2	7.5	6.9	6.2	5.8	5.5
3	7.6	6.9	6.1	5.7	5.4
PROMEDIO	7.5	6.8	6.1	5.7	5.5

Tabla 8*Tratamiento 3 para Potencial de Hidrogeno (pH)*

TRATAMIENTO 3					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	15'	15'	15'	15'	15'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Unidad de pH	7.7	7.0	6.4	5.9	5.5
REPETICIONES					
1	7.6	7.1	6.3	6.0	5.6
2	7.6	6.9	6.2	5.9	5.6
3	7.7	7.1	6.3	6.0	5.7
PROMEDIO	7.7	7.0	6.3	6.0	5.6

Tabla 9*Tratamiento 4 para Potencial de Hidrogeno (pH)*

TRATAMIENTO 4					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	20'	20'	20'	20'	20'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Unidad de pH	7.4	7.2	6.4	5.9	5.1
REPETICIONES					
1	7.6	7.1	6.5	5.8	5.1
2	7.7	6.9	6.4	5.9	5.2
3	7.6	7.1	6.5	5.8	5.1
PROMEDIO	7.6	7.1	6.5	5.9	5.1

Tabla 10*POA para Potencial de Hidrogeno (pH)*

Potencial de Hidrogeno					
Tratamiento en tiempo (min)	Dosis H ₂ O ₂				
	1%	5%	10%	15%	20%
5'	7.80	7.10	6.50	5.90	5.80
10'	7.50	6.80	6.10	5.70	5.50
15'	7.70	7.00	6.30	6.00	5.60
20'	7.60	7.10	6.50	5.90	5.10

4.1.4 Tratamiento con Fe⁺² y H₂O₂ para DQO

Con un volumen de muestra de 100 ml, y una dosis de 5 ml de Fe⁺², se analizó el parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO) obteniendo que para los diferentes tiempos de tratamiento la dosis más óptima varía entre 15 y 20 % del oxidante peróxido de hidrogeno, reduciendo el valor inicial de DQO (6513 mg/L) hasta un mínimo de 493 mg/L tal como se muestra en los siguientes cuadros:

Tabla 11*Tratamiento 1 para Demanda Química de oxígeno (DQO)*

TRATAMIENTO 1					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	5'	5'	5'	5'	5'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración DQO (mg/l)	6 210	5 820	3 330	2 580	1 595
REPETICIONES					
1	6 180	5 790	3 350	2 565	1 580
2	5 980	5 750	3 295	2 595	1 505
3	6 120	5 810	3 310	2 570	1 490
PROMEDIO	6122	5793	3321	2578	1543

Tabla 12*Tratamiento 2 para Demanda Química de oxígeno (DQO)*

TRATAMIENTO 2					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	10'	10'	10'	10'	10'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración DQO (mg/l)	5 810	4 820	1 430	1 080	895
REPETICIONES					
1	6 080	4 790	1 450	1 065	880
2	5 990	4 750	1 405	1 110	805
3	6 125	4 810	1 410	1 070	890
PROMEDIO	6001	4793	1424	1081	868

Tabla 13*Tratamiento 3 para Demanda Química de oxígeno (DQO)*

TRATAMIENTO 3					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	15'	15'	15'	15'	15'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración DQO (mg/l)	5 110	4 120	1 030	770	695
REPETICIONES					
1	5 180	4 090	1 050	785	689
2	5 080	4 150	1 095	765	678
3	5 120	4 110	1 010	780	695
PROMEDIO	5123	4118	1046	775	689

Tabla 14*Tratamiento 4 para Demanda Química de oxígeno (DQO)*

TRATAMIENTO 4					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	20'	20'	20'	20'	20'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración DQO (mg/l)	4 210	3 820	830	580	495
REPETICIONES					
1	4 180	3 790	850	565	480
2	4 980	3 750	895	595	505
3	4 120	3 810	880	570	490
PROMEDIO	4373	3793	864	578	493

Tabla 15*POA para Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

Demanda Química de Oxígeno					
Tratamiento en tiempo (min)	Dosis H ₂ O ₂				
	1%	5%	10%	15%	20%
5'	6122.00	5793.00	3321.00	2578.00	1543.00
10'	6001.00	4793.00	1424.00	1081.00	868.00
15'	5123.00	4118.00	1046.00	775.00	689.00
20'	4373.00	3793.00	864.00	578.00	493.00

4.1.5 Tratamiento con Fe⁺² y H₂O₂ para DBO

Con un volumen de muestra de 100 ml, y una dosis de 5 ml de Fe⁺², se analizó el parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) obteniendo que para los diferentes tiempos de tratamiento la dosis más óptima varía entre 15 y 20 % del oxidante peróxido de hidrogeno, reduciendo el valor inicial de DBO (885 mg/L) hasta un mínimo de 211 mg/L tal como se muestra en los siguientes cuadros:

Tabla 16*Tratamiento 1 para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*

TRATAMIENTO 1					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	5'	5'	5'	5'	5'
Dosis H ₂ O ₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración DBO (mg/l)	830	745	585	505	450
REPETICIONES					
1	850	730	575	510	445
2	825	745	585	516	451
3	848	735	592	493	436
PROMEDIO	838	739	584	506	446

Tabla 17*Tratamiento 2 para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*

TRATAMIENTO 2					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	10'	10'	10'	10'	10'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración DBO (mg/l)	765	645	585	490	395
REPETICIONES					
1	770	630	575	498	388
2	795	645	585	486	391
3	768	635	592	493	385
PROMEDIO	775	639	584	492	390

Tabla 18*Tratamiento 3 para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*

TRATAMIENTO 3					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	15'	15'	15'	15'	15'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración DBO (mg/l)	740	605	485	350	305
REPETICIONES					
1	735	610	475	358	295
2	758	615	485	336	311
3	745	618	492	343	306
PROMEDIO	745	612	484	347	304

Tabla 19*Tratamiento 4 para Demanda Química de Oxígeno (DBO)*

TRATAMIENTO 4					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	20'	20'	20'	20'	20'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración DBO (mg/l)	750	645	385	250	210
REPETICIONES					
1	770	630	375	258	215
2	695	645	385	236	211
3	768	635	392	243	206
PROMEDIO	746	639	384	247	211

Tabla 20*POA para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*

Demanda Bioquímica de Oxígeno					
Tratamiento en tiempo (min)	Dosis H₂O₂				
	1%	5%	10%	15%	20%
5'	838.00	739.00	584.00	506.00	446.00
10'	775.00	639.00	584.00	492.00	390.00
15'	745.00	612.00	484.00	347.00	304.00
20'	746.00	639.00	384.00	247.00	211.00

4.1.6 Tratamiento con Fe^{+2} y H_2O_2 para Sólidos Totales (ST)

Con un volumen de muestra de 100 ml, y una dosis de 5 ml de Fe^{+2} , se analizó el parámetro Sólidos Totales (ST) obteniendo que para los diferentes tiempos de tratamiento la dosis más óptima varía entre 15 y 20 % del oxidante peróxido de hidrogeno, reduciendo el valor inicial de ST (3253 mg/L) hasta un mínimo de 544 mg/L tal como se muestra en los siguientes cuadros:

Tabla 21

Tratamiento 1 para Sólidos Totales (ST)

TRATAMIENTO 1					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	5'	5'	5'	5'	5'
Dosis H_2O_2 (%)	1	5	10	15	20
Concentración ST (mg/l)	3095	2882	1172	865	748
REPETICIONES					
1	3122	2778	1168	864	745
2	3088	2877	1173	856	741
3	3117	2783	1166	845	743
PROMEDIO	3106	2830	1170	858	744

Tabla 22*Tratamiento 2 para Sólidos Totales (ST)*

TRATAMIENTO 2					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	10'	10'	10'	10'	10'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración ST (mg/l)	3005	2782	1072	766	648
REPETICIONES					
1	3092	2678	1068	765	643
2	3005	2677	1073	754	648
3	3017	2683	1066	748	641
PROMEDIO	3030	2705	1070	758	645

Tabla 23*Tratamiento 3 para Sólidos Totales (ST)*

TRATAMIENTO 3					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	15'	15'	15'	15'	15'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración ST (mg/l)	3005	2582	972	615	538
REPETICIONES					
1	3112	2578	968	614	555
2	3008	2577	973	626	549
3	3117	2583	966	618	553
PROMEDIO	3061	2580	970	618	549

Tabla 24*Tratamiento 4 para Sólidos Totales (ST)*

TRATAMIENTO 4					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	20'	20'	20'	20'	20'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración ST (mg/l)	2295	1982	872	595	548
REPETICIONES					
1	2192	1978	868	584	545
2	2088	1977	873	596	541
3	2197	1983	866	585	543
PROMEDIO	2193	1980	870	590	544

Tabla 25*POA para Sólidos Totales (ST)*

Sólidos Totales					
Tratamiento en tiempo (min)	Dosis H₂O₂				
	1%	5%	10%	15%	20%
5'	3106.00	2830.00	1170.00	858.00	744.00
10'	3030.00	2705.00	1070.00	758.00	645.00
15'	3061.00	2580.00	970.00	618.00	549.00
20'	2193.00	1980.00	870.00	590.00	544.00

4.1.7 Tratamiento con Fe⁺² y H₂O₂ para Conductividad Eléctrica (C.E)

Con un volumen de muestra de 100 ml, y una dosis de 5 ml de Fe⁺², se analizó el parámetro Conductividad Eléctrica (C.E) obteniendo que para los diferentes tiempos de

tratamiento la dosis más óptima es de 20 % del oxidante peróxido de hidrogeno, aumentando el valor inicial de ST (20.3 mS/cm) hasta 50.4 mS/cm tal como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 26

Tratamiento 1 para Conductividad Eléctrica (C.E)

TRATAMIENTO 1					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	5'	5'	5'	5'	5'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración C.E (mg/l)	21.2	25.5	30.9	33.5	40.3
REPETICIONES					
1	21.4	25.6	30.2	34.0	41.2
2	21.8	25.8	30.5	35.5	40.6
3	21.6	25.4	30.9	34.8	41.8
PROMEDIO	21.5	25.6	30.6	34.5	41

Tabla 27*Tratamiento 2 para Conductividad Eléctrica (C.E)*

TRATAMIENTO 2					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	10'	10'	10'	10'	10'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración C.E (mg/l)	23.2	26.5	33.9	37.5	43.3
REPETICIONES					
1	23.4	26.6	33.2	36.0	42.8
2	23.4	26.8	33.5	37.5	43.2
3	23.8	27.4	33.9	36.2	42.1
PROMEDIO	23.4	26.8	33.6	36.8	42.8

Tabla 28*Tratamiento 3 para Conductividad Eléctrica (C.E)*

TRATAMIENTO 3					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	15'	15'	15'	15'	15'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración C.E (mg/l)	24.5	29.5	35.9	40.5	45.3
REPETICIONES					
1	25.0	28.6	36.2	41.0	46.2
2	25.2	29.8	35.5	40.5	45.2
3	24.8	28.4	35.7	41.2	45.8
PROMEDIO	24.9	29	35.8	40.8	45.6

Tabla 29*Tratamiento 4 para Conductividad Eléctrica (C.E)*

TRATAMIENTO 4					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	20'	20'	20'	20'	20'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración C.E (mg/l)	26.2	30.5	36.9	48.5	50.3
REPETICIONES					
1	27.4	31.6	36.2	48.0	50.2
2	27.6	30.8	36.5	47.5	50.2
3	26.8	30.4	35.9	46.2	50.8
PROMEDIO	27	30.8	36.4	47.6	50.4

Tabla 30*POA para Conductividad Eléctrica (C.E)*

Conductividad Eléctrica					
Tratamiento en tiempo (min)	Dosis H₂O₂				
	1%	5%	10%	15%	20%
5'	21.50	25.60	30.60	34.50	41.00
10'	23.40	26.80	33.60	36.80	42.80
15'	24.90	29.00	35.80	40.80	45.60
20'	27.00	30.80	36.40	47.60	50.40

4.1.8 Tratamiento con Fe⁺² y H₂O₂ para Turbidez

Con un volumen de muestra de 100 ml, y una dosis de 5 ml de Fe⁺², se analizó el parámetro Turbidez obteniendo que para los diferentes tiempos de tratamiento la dosis más

óptima de 20 % del oxidante peróxido de hidrogeno, reduciendo el valor inicial de turbidez (1220 NTU) hasta un valor mínimo de 60 NTU, tal como se muestra en los siguientes cuadros:

Tabla 31

Tratamiento 1 para Turbidez

TRATAMIENTO 1					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	5'	5'	5'	5'	5'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración Turbidez (NTU)	1210	962	472	265	158
REPETICIONES					
1	1202	978	468	264	164
2	1218	947	473	266	159
3	1207	983	466	265	164
PROMEDIO	1209	968	470	265	161

Tabla 32*Tratamiento 2 para Turbidez*

TRATAMIENTO 2					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	10'	10'	10'	10'	10'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración Turbidez (NTU)	970	865	402	205	114
REPETICIONES					
1	992	888	418	214	104
2	988	857	403	206	124
3	997	893	416	215	108
PROMEDIO	987	876	410	210	113

Tabla 33*Tratamiento 3 para Turbidez*

TRATAMIENTO 3					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	15'	15'	15'	15'	15'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración Turbidez (NTU)	870	722	372	155	55
REPETICIONES					
1	892	728	368	158	56
2	888	717	373	162	54
3	897	703	366	155	54
PROMEDIO	887	718	370	158	55

Tabla 34*Tratamiento 4 para Turbidez*

TRATAMIENTO 4					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	20'	20'	20'	20'	20'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración Turbidez (NTU)	770	685	272	165	59
REPETICIONES					
1	792	678	298	164	61
2	788	673	283	166	60
3	797	683	266	165	58
PROMEDIO	787	680	280	165	60

Tabla 35*POA para Turbidez*

Turbidez					
Tratamiento en tiempo (min)	Dosis H₂O₂				
	1%	5%	10%	15%	20%
5'	1209.00	968.00	470.00	265.00	161.00
10'	987.00	876.00	410.00	210.00	113.00
15'	887.00	718.00	370.00	158.00	55.00
20'	787.00	680.00	280.00	165.00	60.00

4.1.9 Tratamiento con Fe⁺² y H₂O₂ para Plomo Total

Con un volumen de muestra de 100 ml, y una dosis de 5 ml de Fe⁺², se analizó el parámetro Plomo Total obteniendo que para los diferentes tiempos de tratamiento la dosis

más óptima de 20 % del oxidante peróxido de hidrogeno, reduciendo el valor inicial de turbidez (1.38 mg/L) hasta un valor mínimo de 0.01 mg/L tal como se muestra en los siguientes cuadros:

Tabla 36

Tratamiento 1 para Plomo Total

TRATAMIENTO 1					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	5'	5'	5'	5'	5'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración Pb (mg/L)	1.21	1.15	0.78	0.62	0.48
REPETICIONES					
1	1.28	1.10	0.75	0.59	0.45
2	1.01	0.89	0.85	0.58	0.47
3	1.18	0.87	0.82	0.61	0.49
PROMEDIO	1.17	1.00	0.80	0.60	0.47

Tabla 37*Tratamiento 2 para Plomo Total*

TRATAMIENTO 2					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	10'	10'	10'	10'	10'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración Pb (mg/L)	1.20	1.01	0.68	0.56	0.42
REPETICIONES					
1	1.18	0.98	0.74	0.55	0.41
2	1.19	0.88	0.71	0.53	0.39
3	1.17	0.99	0.69	0.54	0.40
PROMEDIO	1.19	0.97	0.71	0.55	0.41

Tabla 38*Tratamiento 3 para Plomo Total*

TRATAMIENTO 3					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	15'	15'	15'	15'	15'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración Pb (mg/L)	1.12	0.78	0.59	0.16	0.01
REPETICIONES					
1	1.14	0.75	0.55	0.13	0.02
2	1.12	0.76	0.58	0.15	0.01
3	1.13	0.77	0.57	0.14	0.01
PROMEDIO	1.13	0.77	0.57	0.15	0.01

Tabla 39*Tratamiento 4 para Plomo Total*

TRATAMIENTO 4					
Volumen de muestra	100 ml				
Tiempo (min)	20'	20'	20'	20'	20'
Dosis H₂O₂ (%)	1	5	10	15	20
Concentración Pb (mg/L)	1.08	0.70	0.48	0.12	0.01
REPETICIONES					
1	1.03	0.71	0.45	0.15	0.00
2	1.07	0.72	0.47	0.16	0.00
3	1.01	0.73	0.49	0.13	0.01
PROMEDIO	1.05	0.72	0.47	0.14	0.01

Tabla 40*POA para Plomo Total*

Plomo Total					
Tratamiento en tiempo (min)	Dosis H₂O₂				
	1%	5%	10%	15%	20%
5'	1.17	1.00	0.80	0.60	0.47
10'	1.19	0.97	0.71	0.55	0.41
15'	1.13	0.77	0.57	0.15	0.01
20'	1.05	0.72	0.47	0.14	0.01

Tabla 41*Eficiencia de POA*

PARÁMETROS	Concentración Inicial	Concentración final	eficiencia
Potencial de Hidrogeno	7.9	5.1	35.4 %
DQO	6513	493	92.4 %
DBO	885	211	76.2 %
ST	3253	544	83.3 %
CE	20.3	50.4	59.7 %
Turbidez	1220	60	95.1 %
Plomo Total	1.38	0.01	99.3 %
Total de eficiencia			77.35%

4.2 Contrastación de hipótesis

4.2.1 Prueba de hipótesis para pH

Tabla 42

Prueba de efectos inter sujetos - pH

Variable dependiente: Ph

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1950,013 ^a	7	278,573	73,000	,000
Intersección	6507,028	1	6507,028	1705,157	,000
Tratamiento	38,647	3	12,882	3,376	,054
Dosis	1911,365	4	477,841	125,218	,000
Error	45,793	12	3,816		
Total	8502,834	20			
Total corregido	1995,806	19			

a. R al cuadrado = ,977 (R al cuadrado ajustada = ,964)

Al analizar la eficiencia en el tratamiento del pH, se encontró que no existe diferencia significativa entre los valores promedios para el tratamiento ($\text{Sig}=0.054 > 0.05$), en cambio, para la dosis se ha observado un efecto medio diferente ($\text{Sig}=0.00 < 0.05$), lo correcto en este caso es aplicar la prueba de Tukey a los promedios de las dosis para identificar el o las dosis más adecuadas.

Tabla 43*Prueba HSD Tukey^{ab} - pH*

Dosis H ₂ O ₂	N	Subconjunto				
		1	2	3	4	5
1%	4	3,1650				
5%	4		11,3925			
10%	4			19,6175		
15%	4				25,6350	
20%	4					30,3775
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

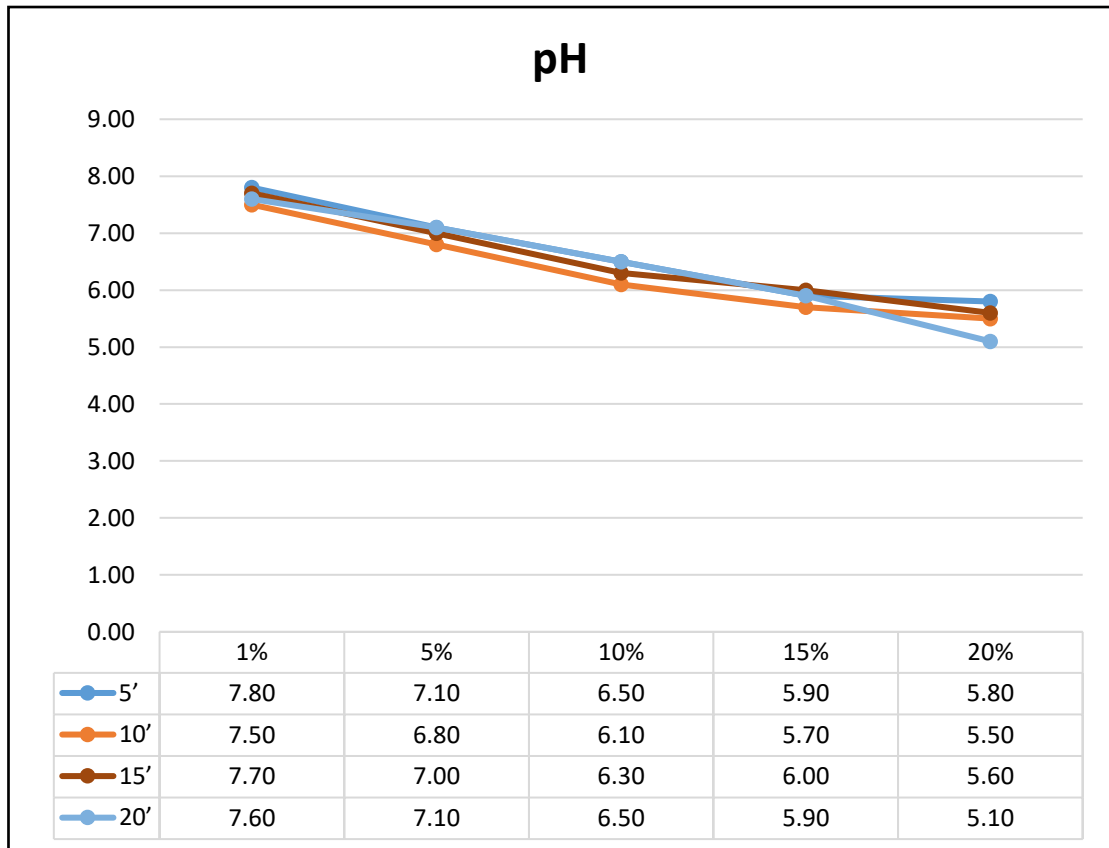
Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 3,816.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Al analizar la eficiencia según la dosis considerada y al 5% de significancia, se encontró que el efecto promedio es diferente para las diferentes dosis analizadas, destacando que el promedio de eficiencia más alto se encontró con una dosis al 20%.

Figura 1*Variación de pH*

4.2.2 Prueba de hipótesis para DQO

Tabla 44

Prueba de efectos inter sujetos - DQO

Variable dependiente: DQO

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	18721,726 ^a	7	2674,532	90,939	,000
Intersección	66096,253	1	66096,253	2247,392	,000
Tratamiento	2305,072	3	768,357	26,126	,000
Dosis	16416,654	4	4104,163	139,549	,000
Error	352,922	12	29,410		
Total	85170,902	20			
Total corregido	19074,649	19			

a. R al cuadrado = ,981 (R al cuadrado ajustada = ,971)

Al analizar la eficiencia en el tratamiento del DQO, se encontró que existe diferencia significativa entre los valores promedios para el tratamiento ($\text{Sig}=0.000<0.05$), de la misma manera, para la dosis se ha observado un efecto medio diferente ($\text{Sig}=0.00<0.05$), lo correcto en este caso es aplicar la prueba de Tukey a los valores promedios de las dosis y tratamientos para identifica el o las dosis más adecuadas.

Tabla 45*Prueba HSD Tukey^{ab} - DQO*

Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
5 min	5	40,5580		
10 min	5		56,4960	
15 min	5		63,9140	63,9140
20 min	5			68,9820
Sig.		1,000	,189	,479

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 29,410.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

b. Alfa = 0.05.

Al analizar la eficiencia según el tratamiento considerado, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra con el tratamiento a los 15 min y 20 min.

Tabla 46*Prueba HSD Tukey^{ab} - DQO*

Dosis H ₂ O ₂	N	Subconjunto	
		1	2
1%	4	17,0150	
5%	4	28,9975	
10%	4		74,4550
15%	4		80,7625
20%	4		86,2075
Sig.		,056	,062

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 29,410.

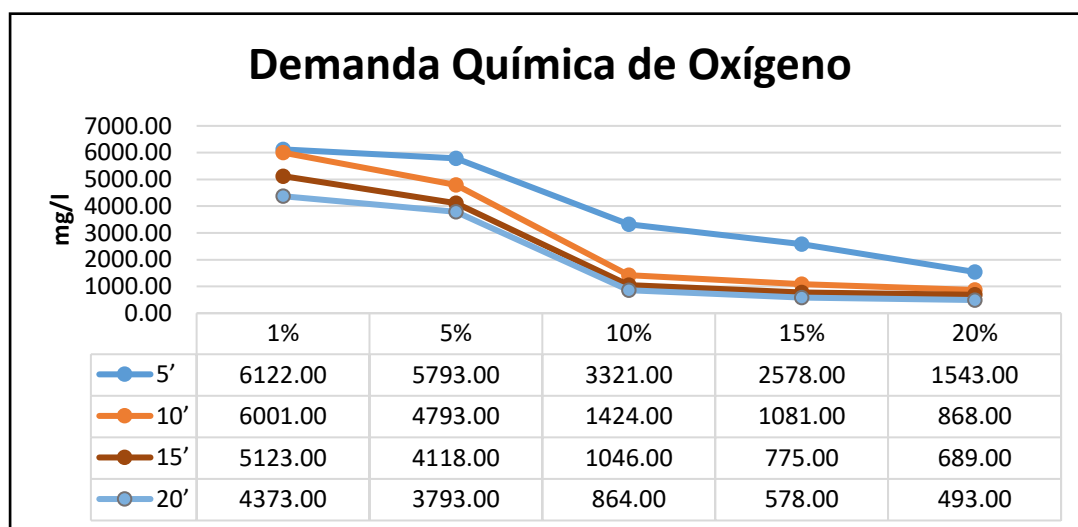
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Al analizar la eficiencia según la dosis considerada para la DQO y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio resulta con las dosis al 10%, 15% y 20%, lo que puede significar que la eficiencia se estabiliza a partir del 10%.

Figura 2

Variación de DQO



4.2.3 Prueba de hipótesis para DBO

Tabla 47

Prueba de efectos inter sujetos - DBO

Variable dependiente: DBO

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7904,082 ^a	7	1129,155	39,972	,000
Intersección	31174,198	1	31174,198	1103,562	,000
Tratamiento	1195,448	3	398,483	14,106	,000
Dosis	6708,634	4	1677,159	59,371	,000
Error	338,985	12	28,249		
Total	39417,264	20			
Total corregido	8243,066	19			

a. R al cuadrado = ,959 (R al cuadrado ajustada = ,935)

Al analizar la eficiencia en el tratamiento del DBO, se encontró que existe diferencia significativa entre los valores promedios para el tratamiento (Sig=0.000<0.05), de la misma manera, para la dosis se ha observado un efecto promedio diferente

(Sig=0.00<0.05), lo correcto en este caso es aplicar la prueba de Tukey a los valores promedios de las dosis y tratamientos para identificar el o los niveles más adecuados.

Tabla 48

Prueba HSD Tukey^{ab} - DBO

Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
5 min	5	29,6480		
10 min	5	34,9160	34,9160	
15 min	5		43,6840	43,6840
20 min	5			49,6740
Sig.		,431	,092	,328

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 28,249.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

b. Alfa = 0.05.

Al analizar la eficiencia según los tratamientos considerados en la investigación y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra con el tratamiento a los 15 min y 20 min.

Tabla 49

Prueba HSD Tukey^{ab} - DBO

Dosis H ₂ O ₂	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1%	4	12,3175			
5%	4		25,7375		
10%	4			42,4850	
15%	4				55,0275
20%	4				61,8350
Sig.		1,000	1,000	1,000	,411

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 28,249.

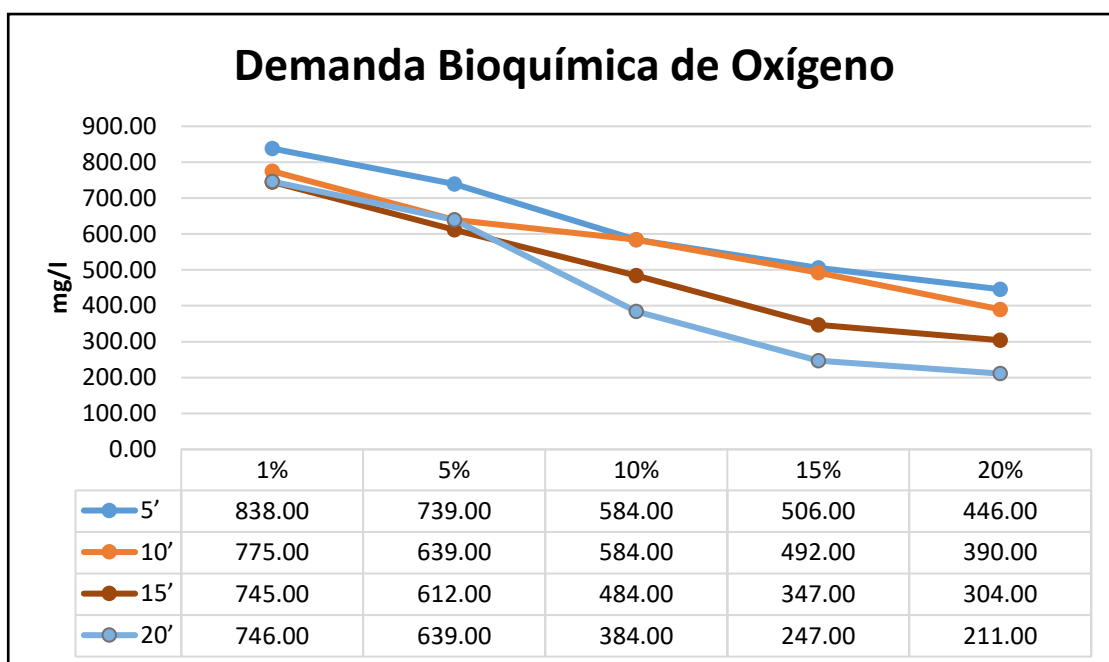
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Al contrastar las diferentes dosis consideradas en la investigación para la demanda bioquímica de oxígeno y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra al 15% y 20%.

Figura 3

Variación de DBO



4.2.4 Prueba de hipótesis para Sólidos Totales

Tabla 50

Prueba de efectos inter sujetos - ST

Variable dependiente: ST

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	17646,553 ^a	7	2520,936	79,311	,000
Intersección	55230,050	1	55230,050	1737,584	,000
Tratamiento	680,277	3	226,759	7,134	,005
Dosis	16966,276	4	4241,569	133,443	,000
Error	381,427	12	31,786		
Total	73258,029	20			
Total corregido	18027,979	19			

a. R al cuadrado = ,979 (R al cuadrado ajustada = ,967)

Al analizar la eficiencia en el tratamiento de los sólidos totales, se encontró que existe diferencia significativa entre los valores promedios para el tratamiento ($\text{Sig}=0.005<0.05$), de la misma manera, para la dosis se ha observado un efecto medio diferente ($\text{Sig}=0.00<0.05$), lo correcto en este caso también es aplicar la prueba de Tukey a los valores promedios de las dosis y tratamientos para identifica el o las dosis más adecuadas.

Tabla 51*Prueba HSD Tukey^{ab} - ST*

Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
5 min	5	5	46,4600	
10 min	5	5	49,5380	
15 min	5	5	52,1780	52,1780
20 min	5	5		62,0240
Sig.			,413	,071

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 31,786.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

b. Alfa = 0.05.

Al analizar la eficiencia según los tratamientos considerados en la investigación y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra con el tratamiento a los 15 min y 20 min.

Tabla 52*Prueba HSD Tukey^{ab} - ST*

Dosis H ₂ O ₂	N	Subconjunto	
		1	2
1%	4	12,4675	
5%	4	22,4175	
10%	4		68,6450
15%	4		78,2950
20%	4		80,9250
Sig.		,156	,060

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 31,786.

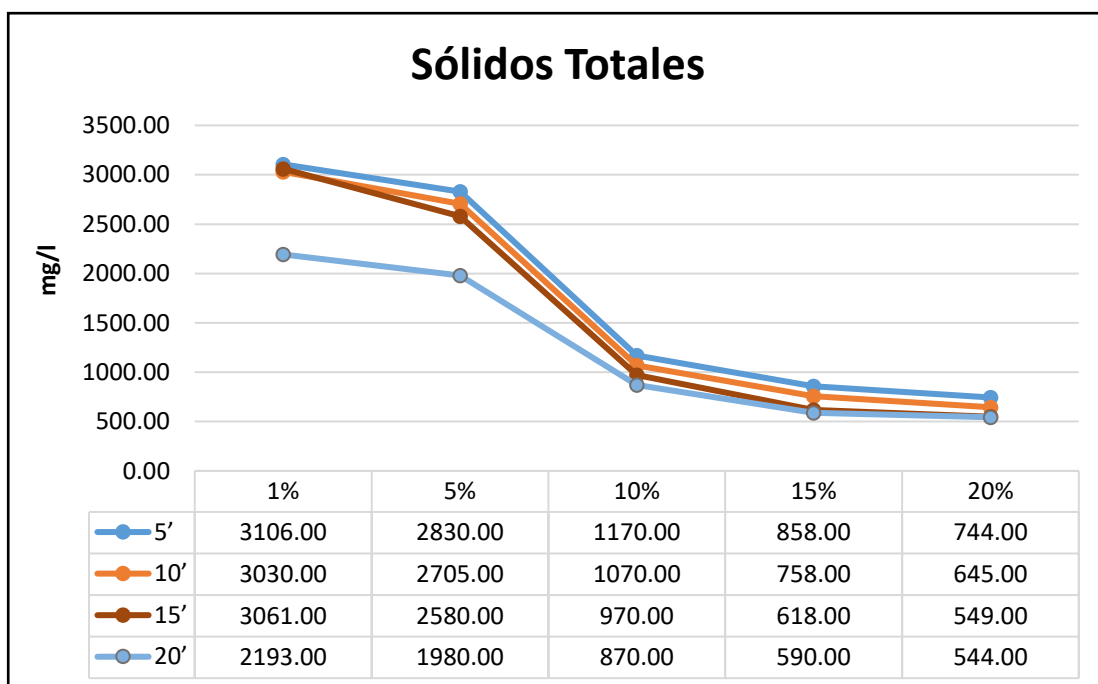
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Al contrastar las diferentes dosis consideradas en la investigación para los sólidos totales y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra al 10%, 15% y 20%, estos tres niveles resultaron ser estadísticamente iguales lo que significa que la eficiencia se estabiliza a partir del 10%.

Figura 4

Variación de ST



4.2.5 Prueba de hipótesis para Conductividad Eléctrica

Tabla 53

Prueba de efectos inter sujetos – C.E

Variable dependiente: C.E

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	31902,015 ^a	7	4557,431	69,943	,000
Intersección	94378,687	1	94378,687	1448,424	,000
Tratamiento	4124,196	3	1374,732	21,098	,000
Dosis	27777,820	4	6944,455	106,576	,000
Error	781,915	12	65,160		
Total	127062,617	20			
Total corregido	32683,930	19			

a. R al cuadrado = ,976 (R al cuadrado ajustada = ,962)

Al analizar la eficiencia en el tratamiento de la conductividad eléctrica, se encontró que existe diferencia significativa entre los valores promedios para el tratamiento ($\text{Sig}=0.000<0.05$), de la misma manera, para la dosis se ha observado un efecto medio diferente ($\text{Sig}=0.00<0.05$), lo correcto en este caso es aplicar la prueba de Tukey a los valores promedios de las dosis y tratamientos para identifica el o las dosis más adecuadas.

Tabla 54*Prueba HSD Tukey^{ab} – C.E*

Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
5 min	5	50,9360		
10 min	5	60,9860	60,9860	
15 min	5		73,4980	
20 min	5			89,3580
Sig.		,252	,120	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 65,160.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

b. Alfa = 0.05.

Al analizar la eficiencia según los tratamientos considerados en la investigación y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra con el tratamiento a los 20 min.

Tabla 55*Prueba HSD Tukey^{ab} – C.E*

Dosis H2P2	N	Subconjunto				
		1	2	3	4	5
1%	4	19,2100				
5%	4		38,1775			
10%	4			67,9800		
15%	4				96,6750	
20%	4					121,4300
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 65,160.

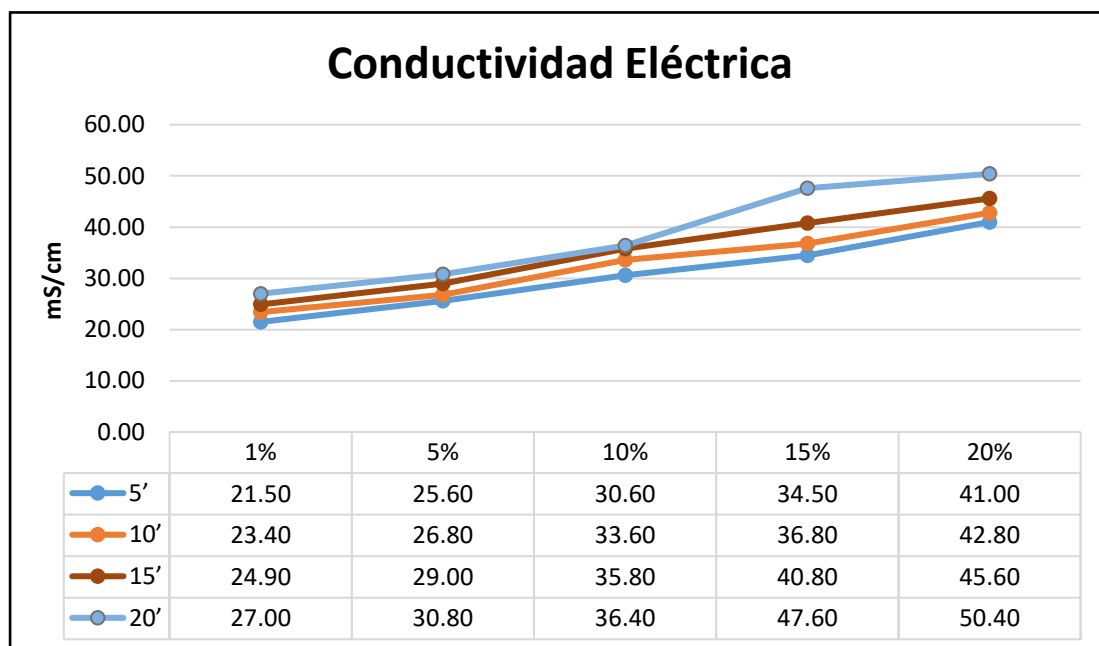
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Al contrastar las diferentes dosis consideradas en la investigación para la conductividad eléctrica y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra al 20%.

Figura 5

Variación de C.E



4.2.6 Prueba de hipótesis para Turbidez

Tabla 56

Prueba de efectos inter sujetos – Turbidez

Variable dependiente: Turbidez

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	16560,361 ^a	7	2365,766	93,803	,000
Intersección	71324,790	1	71324,790	2828,032	,000
Tratamiento	949,047	3	316,349	12,543	,001
Dosis	15611,314	4	3902,828	154,747	,000
Error	302,648	12	25,221		
Total	88187,799	20			
Total corregido	16863,009	19			

a. R al cuadrado = ,982 (R al cuadrado ajustada = ,972)

Al analizar la eficiencia en el tratamiento de la Turbidez se encontró que existe diferencia significativa entre los valores promedios para el tratamiento (Sig=0.001<0.05), de la misma manera, para la dosis se ha observado un efecto medio diferente (Sig=0.00<0.05), lo correcto en este caso es aplicar la prueba de Tukey a los valores promedios de las dosis y tratamientos para identifica el o las dosis más adecuadas.

Tabla 57*Prueba HSD Tukey^{ab} – Turbidez*

Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
5 min	5	49,6240		
10 min	5	57,4440	57,4440	
15 min	5		64,1320	64,1320
20 min	5			67,6720
Sig.		,118	,206	,688

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 25,221.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

b. Alfa = 0.05.

Al analizar la eficiencia según los tratamientos considerados en la investigación y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra con el tratamiento a los 20 min.

Tabla 58*Prueba HSD Tukey^{ab} – Turbidez*

Dosis H ₂ O ₂	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1%	4	20,6975			
5%	4		33,5675		
10%	4			68,6475	
15%	4				83,6500
20%	4				92,0275
Sig.		1,000	1,000	1,000	,192

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 25,221.

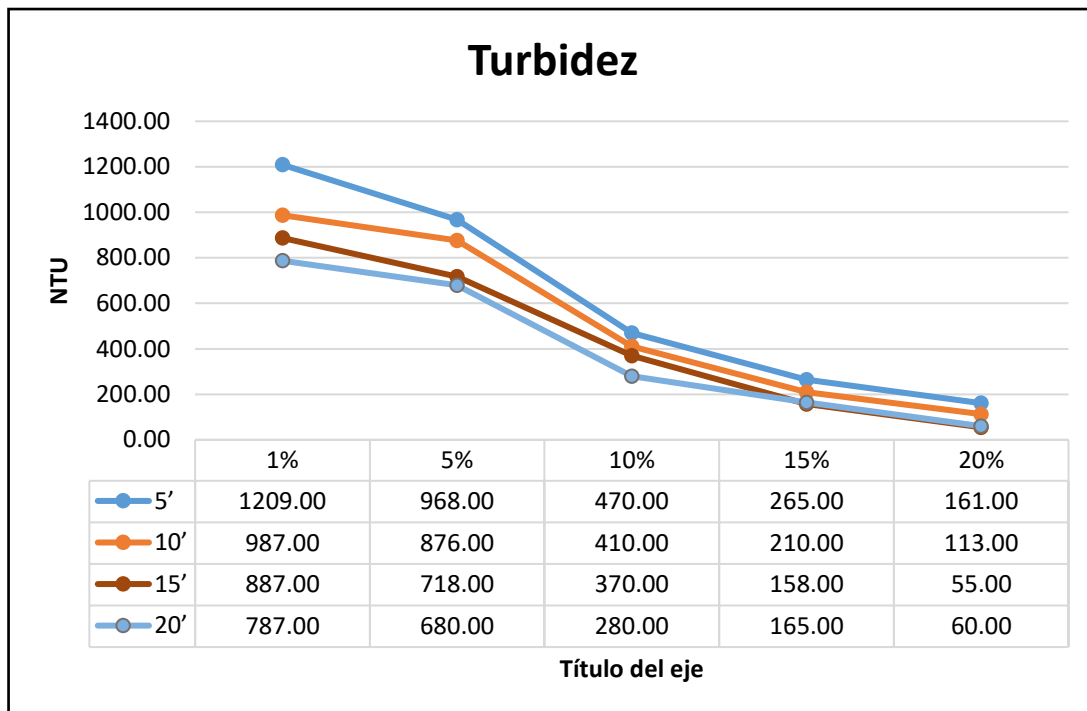
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Al contrastar las diferentes dosis consideradas en la investigación para la turbidez y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra al 15% y 20%.

Figura 6

Variación de Turbidez



4.2.7 Prueba de hipótesis para Plomo Total

Tabla 59

Prueba de efectos inter sujetos – Plomo Total

Variable dependiente: Plomo Total

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	13658,097 ^a	7	1951,157	48,612	,000
Intersección	56813,536	1	56813,536	1415,491	,000
Tratamiento	2186,314	3	728,771	18,157	,000
Dosis	11471,782	4	2867,946	71,454	,000
Error	481,644	12	40,137		
Total	70953,276	20			
Total corregido	14139,740	19			

a. R al cuadrado = ,966 (R al cuadrado ajustada = ,946)

Al analizar la eficiencia en el tratamiento del plomo total, se encontró que existe diferencia significativa entre los valores promedios para el tratamiento (Sig=0.000<0.05), de la misma manera, para la dosis se ha observado un efecto medio diferente (Sig=0.00<0.05), lo correcto en este caso es aplicar la prueba de Tukey a los valores promedios de las dosis y tratamientos para identifica el o las dosis más adecuadas.

Tabla 60*Prueba HSD Tukey^{ab} – Plomo Total*

Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
5 min	5	41,4500	
10 min	5	44,4920	
15 min	5		61,8860
20 min	5		65,3640
Sig.		,871	,821

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 40,137.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.

b. Alfa = 0.05.

Al analizar la eficiencia según los tratamientos considerados en la investigación y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra con el tratamiento a los 15 min y 20 min.

Tabla 61*Prueba HSD Tukey^{ab} – Plomo Total*

Dosis H ₂ O ₂	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1%	4	17,7550			
5%	4		37,3200		
10%	4			53,8050	
15%	4				73,9125
20%	4				83,6975
Sig.		1,000	1,000	1,000	,249

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 40,137.

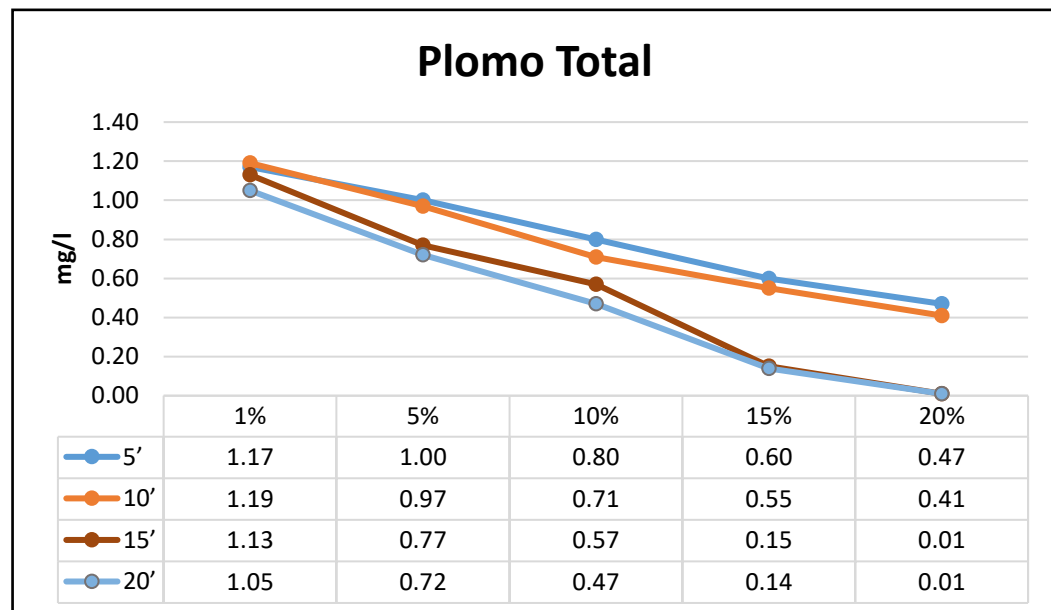
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Al contrastar las diferentes dosis consideradas en la investigación para el plomo total y al 5% de significación, se encontró que el mayor promedio de eficiencia se encuentra al 15% y 20%

Figura 7

Variación de Plomo Total



V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos, donde se demuestra que las concentraciones de los parámetros DBO con 885mg/L, DQO 6513mg/L y ST con 885mg/L presentan valores relativamente menores a los lixiviados caracterizados en la ciudad de Colombia tal como lo demuestra Mayor et al. (2018), el cual obtuvo concentraciones de DBO con 4538.50mg/L, DQO 84634.54mg/L y ST con 34310mg/L.

La dosis optima del oxidante peróxido de hidrogeno propuesta para el método fue de 20 %, no obstante este valor es diferente a lo propuesto por Valderama (2018), quien en su investigación tuvo como finalidad reducir el valor de DQO presente en los lixiviados, por lo cual obtuvo una dosis optima de 0.3 g de peróxido de hidrógeno para obtener un porcentaje de reducción de 73%.

Pérez (2017), al aplicar el método de proceso de oxidación avanzada para el tratamiento de lixiviados en un vertedero, definió que para lograr un eficiencia de 80% el tiempo promedio de tratamiento es de 2 horas mientras que en la presente investigación solo tomo 20 minutos.

Por otro lado, se obtuvo que el proceso de oxidación avanzada en la aplicación del tratamiento de lixiviados tiene una eficiencia de remoción de contaminantes en un 77.35%, un valor menor a la eficiencia encontrada por Mayorca (2017), el cual obtuvo 94.38 % de eficiencia mediante el proceso de Foto-Fenton. Aunque en ambas metodologías el tiempo optimo fue de 20 minutos. Mientras que Bautista et al. (2016) logró obtener una eficiencia de 90% utilizando como reactivo catalizador se utilizó $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y como agente oxidante H_2O_2 al 30%, del mismo modo Alonso (2013), mediante procesos de Fenton ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$), logro obtener una reducción del contaminante en 72% empleando un tiempo de 60 minutos.

Finalmente, Martínez et al. (2014) refiere que no existe una metodología óptima para el tratamiento de lixiviados puesto que estos contienen características diferentes en cada lugar de origen.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1 En la presente tesis se evaluó la eficiencia del método de oxidación avanzada, utilizando como oxidante al peróxido de hidrogeno y como catalizador al sulfato ferroso, con la finalidad de dar tratamiento a los lixiviados generados en el Botadero San Juan de Tulumayo, en la ciudad de Chanchamayo. Es por ello, que se analizó en primera instancia las características fisicoquímicas de los lixiviados obteniendo que estas presentan valores de 21.5°C de temperatura, 7.9 de pH, 885mg/L de DBO, 6513mg/L de DQO, 3253mg/L de solidos totales, 20.3mS/cm de conductividad eléctrica, 1220 NTU de turbidez y 1.38mg/L de plomo total.
- 6.2 Al aplicar la metodología de oxidación avanzada para reducir dichos valores, se propuso emplear 5 dosis diferentes del oxidante peróxido de hidrogeno (1, 5, 10, 5 y 20 %), con diferentes rangos de tiempo (5, 10, 15 y 20 minutos), de tal modo que para cada parámetro se obtuvo:
- ✓ Potencial de hidrogeno (pH), de un valor inicial de 7.9 a 5.10.
 - ✓ Demanda Química de Oxigeno (DQO), de un valor inicial de 6513mg/L a 493mg/L.
 - ✓ Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO) de un valor inicial de 885mg/L de a 211mg/L.
 - ✓ Solidos Totales (ST) de un valor inicial de 3253mg/L a 544mg/L.
 - ✓ Conductividad Eléctrica (C.E) de un valor inicial de 20.3mS/cm a 50.40mS/cm.
 - ✓ Turbidez de un valor inicial de 1220 NTU a 60NTU.
 - ✓ Plomo Total de un valor inicial de 1.38mg/L a 0.01mg/L.
- 6.3 Por lo tanto, se concluye que para el tratamiento de lixiviados mediante la metodología de oxidación avanzada, la condiciones más óptimas para el tratamiento

de 100 ml de muestra de lixiviado son: la concentración patrón del oxidante (peróxido de hidrogeno) está determinada al 70%, siendo una dosis optima de tratamiento de 20%, del mismo modo para el catalizador (sulfato ferroso) al 1% la dosis patrón es de 5ml, con un tiempo de tratamiento de 20 minutos.

- 6.4 Cabe agregar que al añadir iones hidrogeno para la oxidación del peróxido este produce que el parámetro de conductividad eléctrica se incremente, mientras que el pH se reduce, es por ello que se debe mantener una dosis estándar de 20% ya que el pH debe mantener un valor neutro.
- 6.5 Finalmente se concluye que para el tratamiento de lixiviados mediante el método de oxidación avanzada, el porcentaje de eficiencia en la remoción de parámetros fue de: pH 35.4%, DQO 92.4%, DBO 76.2%, ST 83.3%, C.E 59.7%, turbidez 95.1% y plomo de 99.3, siendo este último el contaminante con más porcentaje de remoción.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1 Se recomienda realizar al menos 5 repeticiones en cada experimentación de tal modo afianzar los resultados encontrados.
- 7.2 Se recomienda utilizar otro tipo de oxidante y catalizador con el objetivo de innovar la metodología y buscar nuevas relaciones para contrarrestar el contaminante.
- 7.3 Se recomienda emplear otro tipo de oxidante y/o catalizador para determinar cuál es más eficiente en el tratamiento.
- 7.4 Se recomienda emplear el protocolo de monitoreo ambiental correspondiente para la obtención de las muestras.
- 7.5 Se recomienda realizar al menos 5 repeticiones de la experimentación para obtener valores más concretos.
- 7.6 Se recomienda aplicar un tratamiento complementario al proceso de oxidación avanzada propuesto, de tal modo lograr la estabilización de los parámetros.
- 7.7 A la municipalidad se recomienda realizar una correcta administración en la segregación de residuos.
- 7.8 A las autoridades del municipio de Chanchamayo se recomienda realizar un continuo monitoreo de las infiltraciones de lixiviados y tomar las medidas correspondientes para evitar que estas lleguen al contacto con la población.

VIII. REFERENCIAS

- Ainhoa, C., Chica, E. y Peñuela, G. (2014). Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *Ingeniería y Competitividad*, 16 (2), 211-223.
- Alonso, E. (2013). *Contribución al tratamiento de lixiviados de vertedero de residuos sólidos urbanos mediante procesos de oxidación avanzada*. [Tesis doctoral, Universidad de Cantabria].
- Arango, P. (2013). *Evaluación de alternativas para el tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Antanas del Municipio de San Juan de Pasto en Colombia*. [Tesis de Postgrado, Universidad de Buenos Aires].
- Bautista, J., Bartolo, V., Ramos, F., Gutiérrez, R. & Nájera, H. (2016). *Proceso Fenton para lixiviados pretratados biológicamente*. *Revista de Ciencias de la Unicach, Lacandonia*, 10(2), pp.61-68.
- Chiva, S., Berlanga, J., Martínez, R & Climent, J.. (2017). *Procesos de oxidación avanzada en el ciclo integral del agua*. FACSA. <http://dx.doi.org/10.6035/UJI.FACSA.2017.1>
- Hidalgo, A., Murcia, M., Gomez, M. y López, A. (2016). *Alternativas en el tratamiento de lixiviados de vertedero*. CONAMA. www.conama2016.org
- Decreto Legislativo N° 1278, (2017). *Ley de Gestión de Integral de Residuos Sólidos*.
- Doménech, X., Jardim, W. y Litter, M. (2018). *Procesos Avanzados de Oxidación para la eliminación de contaminantes*. CNEA.
- Farfán, A. (2017). *Tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa farmacéutica por oxidación avanzada-Lima 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
- Florindo, V. (2010). *Diseño de un sistema de tratamiento de lixiviados de residuos sólidos mediante oxidación fotocatalítica*. [Tesis de Pregrado, Universidad Carlos III de Madrid].

- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6° ed.). McGraw-Hill Education.
- Instituto Nacional De Estadística E Informática. (2017). *Censo Nacional 2017: XII de población y VII de vivienda*. <https://www.inei.gob.pe>
- Malato, S. (2017). *Descontaminación de aguas mediante oxidación avanzada con radiación solar: un proceso doblemente sostenible*. Plataforma Solar de Almería.
- Martinez-Lopez, A.G., Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, O. F., Chiquito-Coyotl, O., EscarolaRosas, M. A., Hernández-Lara, J.M., Elvira-Hernández, E. A., Méndez, G. A., Tinoco-Magaña, J.C. & Martínez-Castillo, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en química*, 9(1), 37-47.
- Mayor, V., Agudelo, A., García-Alzate, L. & Padilla, L. (2018). Caracterización de lixiviados como alternativa que contribuya a la mitigación de contaminantes. *Revista ION*, 31(63), 59-63.
- Mayorca, N. (2017). *Reducción de la carga orgánica en lixiviado estabilizado del botadero municipal de San Ramón mediante oxidación avanzada foto-fenton*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva].
- Medina, C., Montero, E. y Cruz, L. (2017). Optimización del proceso fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. *Rev. Soc. Quim Perú*, 82 (4), 454-466.
- Mendez, R., Pietrogiovanna, J., Santos, B., Sauri, M., Giacoman, G. & Castillo, E. (2010). Determinación de la dosis óptima de reactivo Fenton en un tratamiento de lixiviados por Fenton–adsorción. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 26, 3.
- Nájera, H., Castañón, J., Figueroa, J. y Rojas-Valencia, M. (2009). Caracterización y tratamiento fisicoquímico de lixiviados maduros producidos en el sitio de disposición final de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. Barranquilla, Col.

- Perez, G. (13–14 de junio de 2017). Aplicación de procesos de oxidación avanzada en planta piloto al tratamiento de lixiviados de vertedero. *Memorias del VII Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos: hacia una Economía Circular*, Santander, España.
- Primo, O. (2008), *Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de rsu mediante procesos de oxidación avanzada*. [Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. Santander].
- Real Academia Española. Diccionario de la lengua española. [Fecha de consulta: 15 de septiembre, 2019]. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=NT2erac>
- Saez, A. & Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121-135.
- Torres, V., Agudelo, A., García, L. y Padilla, L. (2018). Caracterización de lixiviados como alternativa que contribuya a la mitigación de contaminantes. *Revista Ion*, 31(1), 59-63. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018010>
- Valderrama, D. (2018). *Estudio de un método innovador de oxidación en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios para su posible uso en la ingeniería*. [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada].

IX. ANEXOS

9.1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

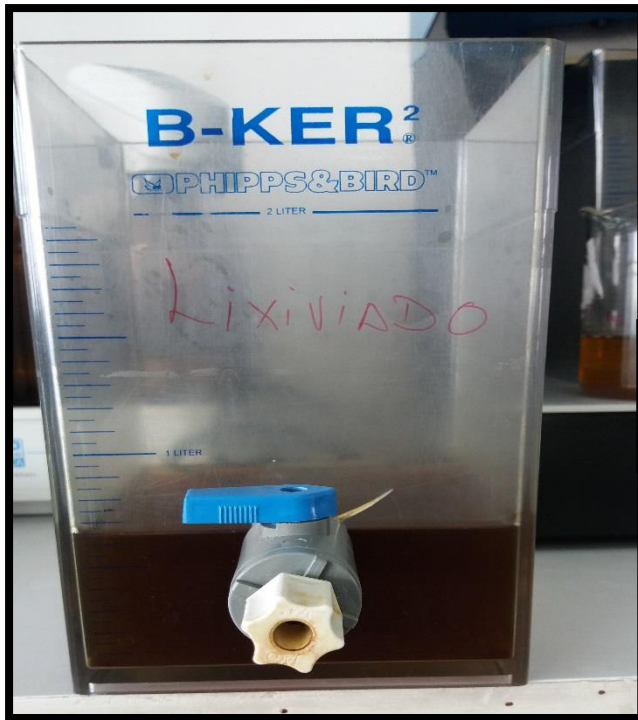
Tabla 62

Matriz de Consistencia

	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFICNICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
GENERAL	¿Cuál es la eficiencia del proceso de oxidación avanzada mediante el método de Fenton en el tratamiento de lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo, 2019?	Evaluar la eficiencia por procesos de oxidación avanzada mediante el método de Fenton en el tratamiento de lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, Chanchamayo, 2019.	El tratamiento de lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo - Chanchamayo, mediante el proceso de oxidación avanzada tiene una eficiencia mayor a 98%.	Procesos de Oxidación Avanzada – Método Fenton	Es un proceso fisico-químico, capaz de producir alteraciones en la composición de los contaminantes. Dicho proceso genera y usa especies transitorias de poder oxidante, como el radical hidroxilo (HO ⁺). (DOMÉNECH, X., et al, 2018, p.8). El método fenton, utiliza un oxidante (peróxido de hidrogeno) y un catalizador (sulfato ferroso).	Para el tratamiento con el Proceso de Oxidación Avanzada, se utilizó una muestra de 50 litros de lixiviados del Botadero San Juan de Tulumayo, los cuales fueron analizados previo al tratamiento. Seguidamente se dividen los lixiviados en vasos precipitados a un volumen determinado, para agregar el oxidante peróxido de hidrogeno, tomando en cuenta diferentes dosis y tiempos de tal modo se definió cual era el más óptimo para el tratamiento. Así mismo se determinó la eficiencia mediante las concentraciones iniciales y finales:	Eficiencia	Concentración Inicial (mg/L)
								Concentración Final (mg/L)
								Eficiencia (%)
							Características del oxidante	Dosis (mg/L)

	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFICNICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
	Tulumayo, Chanchamayo – 2019?	Tulumayo, Chanchamayo – 2019.	concentraciones menores a las iniciales.					Plomo Total

9.2 Galería fotográfica de laboratorio.



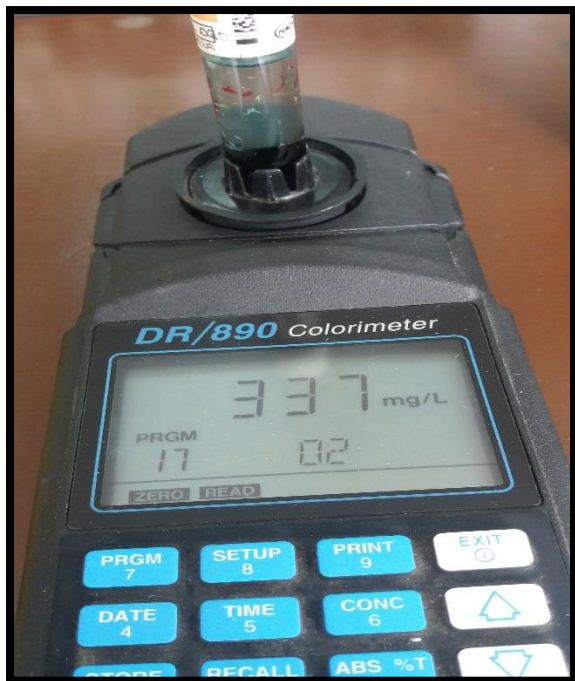
MUESTRA DE LIXIVIADO



PREPARACIÓN DEL
CATALIZADOR SULFATO
FERROSO

DETERMINACIÓN DE DQO, USO DEL DIGESTOR Y EL
COLORIMETRO.



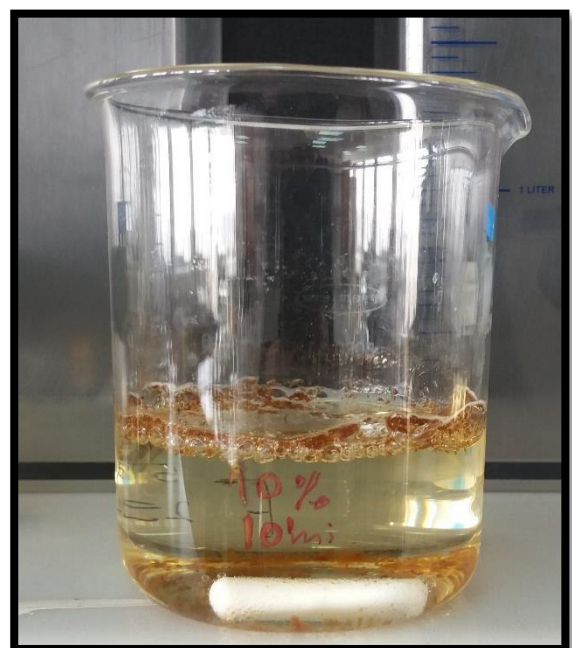
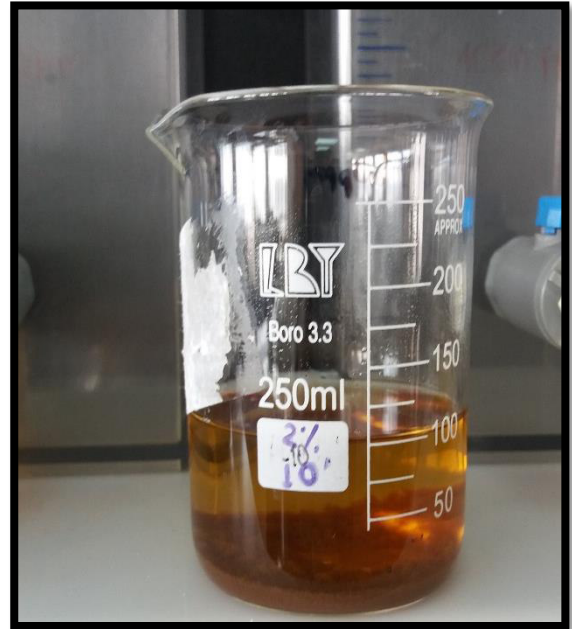
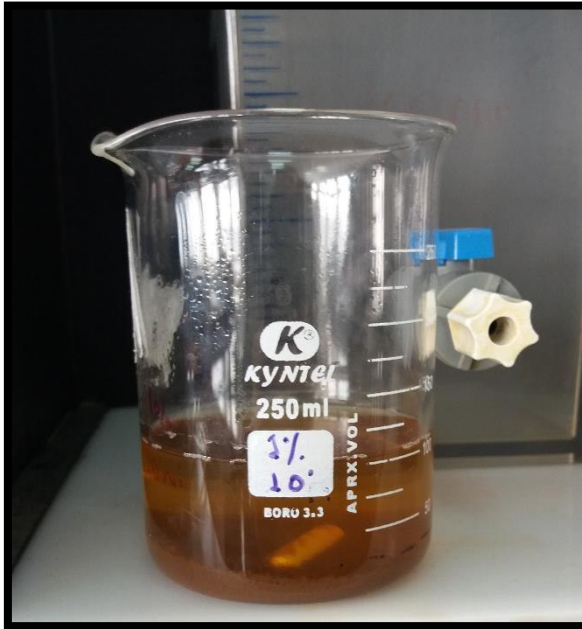


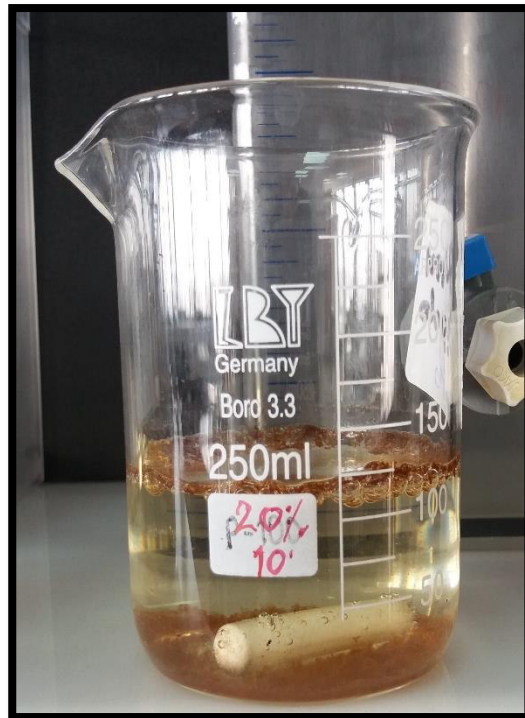
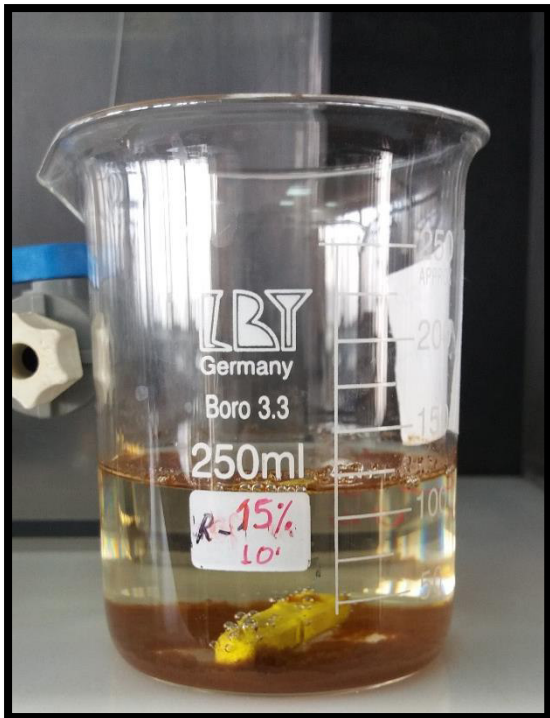
MEDICION DEL DQO CON EL COLORIMETRO.



DIGESTION DE MUESTRAS

TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS POR TIEMPOS Y DOSIS





RESULTADOS FINALES DEL TRATAMIENTO

